

模具技术丛书

冷冲压模具设计难点与技巧

刘占军 高铁军 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

全书共7章。第1章介绍冲裁模设计难点与技巧；第2章介绍弯曲模设计难点与技巧；第3章介绍拉深模设计难点与技巧；第4章介绍成形模设计难点与技巧；第5章介绍冷挤压模具设计难点与技巧；第6章介绍多工位级进模设计难点与技巧；第7章介绍模具设计难点与技巧实例精析。本书图例讲解透彻，绘制详细，分析切中要害，为广大本科、专科模具专业毕业生提供了大量毕业设计样本。

本书可作为本科、专科模具专业以及相关专业模具设计课程的教材，也可作为专业技术人员设计时的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

冷冲压模具设计难点与技巧 / 刘占军, 高铁军编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.7

(模具技术丛书)

ISBN 978-7-121-11176-1

I. ①冷… II. ①刘…②高… III. ①冷冲模—设计 IV. ①TG385.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 117287 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 侯丽平

印 刷:

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 17.5 字数: 448 千字

印 次: 2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

模具是现代工业生产的主要工艺装备，模具工业是国民经济中的基础工业。近年来，随着我国模具技术的飞速发展，培养高级模具技术人才已成为当务之急。

本书的指导思想是，在总结多年模具工作的实践经验和大量最新研究成果的基础上，将冷冲压模具设计技巧和大量实例介绍给读者，注重设计方法与技能的训练。《冷冲压模具设计难点与技巧》一书汇集了冷冲压设计的精华内容，提高冷冲压模具设计水平历来是有志于成为本行业高级专业技术人员的梦寐以求之事，相信通过本书的学习，广大读者就会找到一条专业设计水平升华之路。

全书共 7 章。第 1 章介绍冲裁模设计难点与技巧；第 2 章介绍弯曲模设计难点与技巧；第 3 章介绍拉深模设计难点与技巧；第 4 章介绍成形模设计难点与技巧；第 5 章介绍冷挤压模具设计难点与技巧；第 6 章介绍多工位级进模设计难点与技巧；第 7 章介绍模具设计难点与技巧实例精析。其中第 7 章的连续模设计典型实例精析，包括 33 个最新冲压排样图及装配图实际设计实例，图例讲解透彻，绘制详细，分析切中要害，为广大本科、专科模具专业毕业生提供了大量毕业设计样本。

本书可作为本科、专科模具专业以及相关专业模具设计课程的教材，也可作为专业技术人员设计时的参考书。本书在编写过程中得到沈阳航空工业学院高铁军老师的大力支持与协助，在此一并致以诚挚谢意。

由于作者水平有限，书中不足甚至错误之处在所难免，敬请广大读者在使用过程中提出宝贵意见，以便进一步修正。

编著者

目 录

第 1 章 冲裁模设计难点与技巧	(1)	1.7.5 冲压件的定位装置 设计	(31)
1.1 排样与搭边的设计技巧	(2)	1.7.6 模具的出件与废料排出 装置设计	(33)
1.1.1 排样利用率计算	(2)	1.8 冲模设计程序技巧	(34)
1.1.2 冲压排样设计方案	(3)	1.8.1 冲模设计准备工作	(34)
1.1.3 搭边	(4)	1.8.2 模具结构的选择	(36)
1.1.4 条料宽度和导尺间 距离设计	(6)	1.8.3 模具设计时应遵循的 原则	(37)
1.2 凸、凹模工作尺寸与公差计算 技巧	(8)	1.8.4 冲裁间隙的计算与 选择	(38)
1.2.1 冲裁凸、凹模型面工作尺 寸计算	(8)	1.8.5 冲模设计步骤安排	(39)
1.2.2 型面尺寸计算与给定	(9)	第 2 章 弯曲模设计难点与技巧	(40)
1.2.3 凸、凹模尺寸线注法	(10)	2.1 弯曲件的工艺性审核技巧	(41)
1.3 冲裁工艺力的计算技巧	(12)	2.1.1 最小弯曲半径校核	(41)
1.3.1 冲裁力计算	(12)	2.1.2 弯曲件直边高度校核	(41)
1.3.2 卸料力 $F_{卸}$ 、推件力 $F_{推}$ 和 顶件力 $F_{顶}$ 计算	(13)	2.1.3 弯曲件孔边距离校核	(42)
1.3.3 压力机公称压力的选择	(13)	2.1.4 增添工艺孔、槽	(43)
1.4 冲裁模压力中心的选定技巧	(13)	2.1.5 切舌弯曲	(43)
1.4.1 复杂形状冲裁件排样模具 的压力中心确定	(14)	2.1.6 加添连接带	(43)
1.4.2 多凸模冲裁排样时模具的 压力中心确定	(14)	2.1.7 定位工艺孔	(44)
1.5 冲裁凹模设计技巧	(15)	2.1.8 对称弯曲	(44)
1.5.1 冲裁凹模的结构形式 选择	(15)	2.2 弯曲件的回弹计算与控制 技巧	(45)
1.5.2 凹模结构尺寸计算	(17)	2.2.1 影响回弹的因素	(45)
1.6 冲裁凸模设计技巧	(20)	2.2.2 回弹角的大小	(45)
1.6.1 凸模结构与装配设计	(20)	2.2.3 减小回弹	(45)
1.6.2 凸模的结构尺寸设计	(22)	2.3 弯曲件的展开尺寸计算技巧	(47)
1.7 冲裁模结构设计技巧	(23)	2.3.1 弯曲件的排样展开尺寸 计算	(47)
1.7.1 卸料件的选择设计	(23)	2.3.2 无圆角半径或小圆角半径 弯曲件展开尺寸计算	(48)
1.7.2 卸料件的尺寸设计	(25)	2.3.3 铰链式弯曲件展开尺寸 计算	(49)
1.7.3 卸料机构弹性元件的 设计	(25)	2.3.4 棒料弯曲件展开尺寸 计算	(50)
1.7.4 冲裁模导向装置设计	(30)		

2.4	弯曲力计算技巧·····	(50)	3.3.2	多次拉深盒形件坯料尺寸 的确定技巧·····	(74)
2.4.1	自由弯曲力·····	(50)	第4章	成形模设计难点与技巧·····	(76)
2.4.2	校正弯曲力·····	(51)	4.1	冲压成形的分类技巧·····	(77)
2.4.3	顶件力或压料力 F_1 ·····	(51)	4.1.1	冲压成形的定义·····	(77)
2.4.4	弯曲时压力机公称压力 的确定·····	(51)	4.1.2	冲压成形的分类·····	(77)
2.5	弯曲模间隙给定技巧·····	(51)	4.1.3	冲压成型的主要变形方 式分类·····	(77)
2.6	弯曲模工作部分尺寸计算 技巧·····	(52)	4.1.4	科学分类的重要意义·····	(78)
2.6.1	凸、凹模的圆角半径及凹模 的深度计算·····	(52)	4.2	翻孔和翻边工艺与模具设计 技巧·····	(78)
2.6.2	凸、凹模工作部分的尺寸 与公差计算·····	(53)	4.2.1	翻孔模具设计·····	(79)
2.7	弯曲模工序安排及结构设计 技巧·····	(54)	4.2.2	外缘翻边模具设计·····	(81)
2.7.1	弯曲件排样工序安排·····	(54)	4.3	胀形工艺与模具设计技巧·····	(83)
2.7.2	弯曲模相关结构设计·····	(56)	4.3.1	胀形工艺与胀形模·····	(83)
2.7.3	常见弯曲件的模具结构 选定·····	(56)	4.3.2	胀形变形程度·····	(84)
第3章	拉深模设计难点与技巧·····	(61)	4.3.3	胀形力 F 的计算·····	(84)
3.1	圆筒形拉深件的拉深系数和工序 计算技巧·····	(62)	4.4	起伏成形工艺与模具设计 技巧·····	(84)
3.1.1	拉深系数计算·····	(62)	4.4.1	起伏成形判断·····	(85)
3.1.2	无凸缘筒形件的拉深系数、拉深次 数及半成品尺寸的确定·····	(62)	4.4.2	起伏成形工艺计算·····	(85)
3.1.3	有凸缘筒形件的拉深系数及 工序尺寸确定技巧·····	(64)	4.4.3	压制加强肋时所需的 力计算·····	(86)
3.2	阶梯形件、锥形件、半球形件及抛物 线形件的拉深尺寸确定技巧·····	(66)	4.5	缩口成形工艺与模具设计 技巧·····	(87)
3.2.1	阶梯形件拉深尺寸确定 技巧·····	(66)	4.5.1	缩口变形程度的计算·····	(87)
3.2.2	锥形件拉深尺寸确定 技巧·····	(67)	4.5.2	缩口后材料厚度的 计算·····	(88)
3.2.3	半球形件拉深尺寸确定 技巧·····	(71)	4.5.3	缩口的坯料计算·····	(88)
3.2.4	抛物线形件拉深尺寸确定 技巧·····	(72)	4.5.4	缩口力 F 的计算·····	(89)
3.3	盒形件拉深的工艺计算技巧·····	(73)	4.6	旋压成形工艺与模具设计技巧·····	(89)
3.3.1	一次拉深盒形件坯料尺寸 的确定技巧·····	(73)	4.6.1	旋压成形工艺·····	(89)
			4.6.2	旋压的模具设计·····	(89)
			4.7	校平和整形成形工艺与模具设 计技巧·····	(93)
			4.7.1	校平和整形的判断·····	(93)
			4.7.2	模具校平的压力计算·····	(94)
			4.8	成形模的零件设计技巧·····	(94)
			4.8.1	凸、凹模设计·····	(94)
			4.8.2	压边装置设计·····	(96)

4.9	成形模设计程序技巧·····	(99)	6.3	级进拉深排样工位设计技巧·····	(134)
4.9.1	毛坯尺寸计算·····	(99)	6.3.1	工艺尺寸计算·····	(134)
4.9.2	成形极限与成形系数 计算·····	(100)	6.3.2	连续拉深排样·····	(134)
4.9.3	确定成形方式进行工序 设计·····	(107)	6.3.3	料宽和进距的计算·····	(135)
4.9.4	成形力、成形功及压力机床 的选用·····	(108)	6.3.4	带料级进拉深的工艺 计算·····	(137)
第5章	冷挤压模具设计难点与技巧·····	(109)	6.4	多工位级进模排样设计·····	(140)
5.1	冷挤压件的工艺性审核 技巧·····	(110)	6.4.1	零件在条料上的排列 与连接·····	(140)
5.1.1	冷挤压件的合理形状和成形 极限的确定·····	(110)	6.4.2	条料的送进与定位·····	(146)
5.1.2	冷挤压件的尺寸精度 确定·····	(112)	6.4.3	工步设计·····	(146)
5.2	冷挤压坯料的确定和表面处理 技巧·····	(113)	6.4.4	条料排样搭边值确定·····	(148)
5.2.1	冷挤压坯料的确定·····	(113)	6.4.5	条料排样图的设计 步骤·····	(148)
5.2.2	坯料尺寸的计算·····	(113)	6.5	多工位级进模主要零部件 结构设计·····	(149)
5.3	冷挤压力的确定技巧·····	(114)	6.5.1	模架设计·····	(149)
5.3.1	冷挤压件变形程度的 确定技巧·····	(114)	6.5.2	凹模设计·····	(149)
5.3.2	挤压力的确定·····	(118)	6.5.3	凸模设计·····	(151)
5.4	冷挤压模具设计技巧·····	(119)	6.5.4	螺钉和定位销设计·····	(153)
5.4.1	工作零件的设计·····	(119)	6.5.5	定位装置设计·····	(154)
5.4.2	顶杆、垫板的设计·····	(125)	6.5.6	托送装置(托料块、托 料销、托钉)设计·····	(156)
第6章	多工位级进模设计难点与 技巧·····	(129)	6.5.7	卸料装置设计·····	(157)
6.1	级进冲裁排样工位设计技巧·····	(130)	6.5.8	斜楔与滑块装置 设计·····	(158)
6.1.1	级进冲裁排样方案的 确定·····	(130)	6.5.9	其他装置设计·····	(159)
6.1.2	搭边尺寸的确定·····	(131)	6.5.10	自动检测保护装置 设计·····	(162)
6.1.3	冲裁级进模的料宽(W)和 进距(C)计算·····	(131)	6.6	多工位级进模尺寸计算和合 理标注·····	(162)
6.2	级进弯曲排样工位设计技巧·····	(132)	6.6.1	级进模基准型面的构成 与意义·····	(162)
6.2.1	展开尺寸的计算·····	(132)	6.6.2	级进模凹模型面尺寸 计算·····	(163)
6.2.2	冲裁和弯曲的冲压 方向·····	(133)	6.6.3	多工位级进模型面尺寸的 标注方法·····	(163)
6.2.3	分步弯曲成形·····	(133)	6.7	精密多工位级进模结构特点·····	(164)
6.2.4	减小回弹的措施·····	(133)	6.7.1	模具的精密性和可靠性 设计·····	(164)

6.7.2	条料的正常送进及其精密性设计	(166)	7.4.4	翻边模的典型结构	(192)
6.7.3	自动检测保护装置设计	(168)	7.5	冷挤压模设计典型实例精析	(193)
6.7.4	保证模具的使用寿命	(169)	7.5.1	冷挤压模的典型结构	(193)
6.7.5	保证模具维修简便	(169)	7.5.2	冷挤压模具设计实例	(194)
6.7.6	高速冲压用级进模的结构特点	(171)	7.6	连续模设计典型实例精析	(196)
第 7 章 模具设计难点与技巧实例精析			7.6.1	电器插座件多工位级进模设计	(196)
7.1	冲裁模设计典型实例精析	(173)	7.6.2	侧弯支座件多工位级进模设计	(199)
7.1.1	带固定卸料定位板的落料模	(173)	7.6.3	铰链支座件多工位级进模设计	(201)
7.1.2	带弹性卸料板的落料模	(173)	7.6.4	支架件多工位级进模设计	(204)
7.1.3	上出件落料模	(174)	7.6.5	支撑板件多工位级进模设计	(206)
7.1.4	打料出件落料模	(174)	7.6.6	角片件多工位级进模设计	(208)
7.1.5	切边模的典型结构	(175)	7.6.7	拉簧钩件多工位级进模设计	(210)
7.1.6	冲孔模的典型结构	(177)	7.6.8	接插件多工位级进模设计	(212)
7.1.7	复合模的典型结构	(180)	7.6.9	卷圆件多工位级进模设计	(215)
7.2	弯曲模设计典型实例精析	(181)	7.6.10	托架件多工位级进模设计	(217)
7.2.1	V 形弯曲模典型结构	(181)	7.6.11	安装座件多工位级进模设计	(219)
7.2.2	U 形弯曲模典型结构	(182)	7.6.12	摇臂件多工位级进模设计	(221)
7.2.3	带凸缘 U 形弯曲模	(183)	7.6.13	弹力支座件多工位级进模设计	(224)
7.2.4	W 形弯曲模	(183)	7.6.14	护板件多工位级进模设计	(226)
7.2.5	Z 形弯曲模	(183)	7.6.15	角撑件多工位级进模设计	(228)
7.2.6	卷圆模	(184)	7.6.16	铰链垫片件多工位级进模设计	(230)
7.2.7	卷边模	(184)	7.6.17	滚珠卡板件多工位级进模设计	(232)
7.2.8	咬口模	(185)			
7.2.9	侧弯模	(186)			
7.2.10	倒冲弯曲模	(187)			
7.3	拉深模设计典型实例精析	(187)			
7.3.1	首次拉深模典型结构	(187)			
7.3.2	落料拉深模典型结构	(189)			
7.3.3	二次拉深模典型结构	(189)			
7.4	成形模设计典型实例精析	(191)			
7.4.1	缩口模的典型结构	(191)			
7.4.2	扩口模的典型结构	(191)			
7.4.3	胀形模的典型结构	(192)			

7.6.18	右内筒支撑板件多工位级进模设计.....	(234)	7.6.27	接线片片多工位级进模设计.....	(256)
7.6.19	双角片片多工位级进模设计.....	(236)	7.6.28	压簧片片多工位级进模设计.....	(258)
7.6.20	插接板件多工位级进模设计.....	(239)	7.6.29	弹簧片片多工位级进模设计.....	(259)
7.6.21	衣服卡件多工位级进模设计.....	(241)	7.6.30	接插片片多工位级进模设计.....	(261)
7.6.22	电器内板件多工位级进模设计.....	(243)	7.6.31	定位架件多工位级进模设计.....	(263)
7.6.23	风扇支架件多工位级进模设计.....	(246)	7.6.32	开关座件多工位级进模设计.....	(264)
7.6.24	发卡件多工位级进模设计.....	(249)	7.6.33	侧弯支架件多工位级进模设计.....	(266)
7.6.25	簧片片多工位级进模设计.....	(252)	参考文献.....		(268)
7.6.26	角架件多工位级进模设计.....	(254)			

1.1 排样与搭边的设计技巧

1.1.1 排样利用率计算

排样是指冲裁件在板料、条料或带料上的布置方式。排样方法见表 1-1。
排样合理与否,对材料利用率的大小有直接影响。材料利用率的大小可以按以下公式计算。
一个进距内的材料利用率 η 为:

$$\eta=nA/(BS)$$

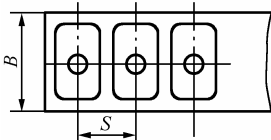
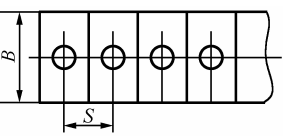
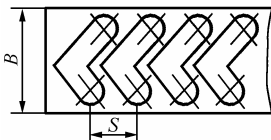
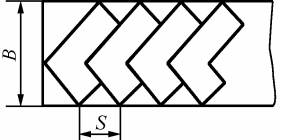
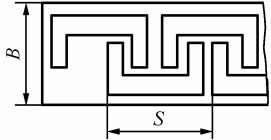
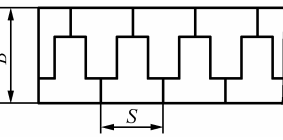
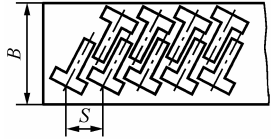
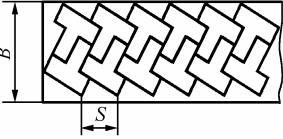
式中 A —— 一个冲裁件的面积;
 n —— 一个进距内的冲裁件数量;
 B —— 条料宽度;
 S —— 进距。

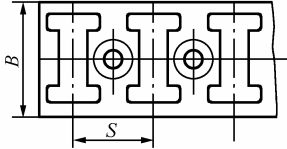
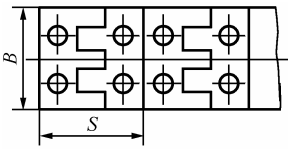
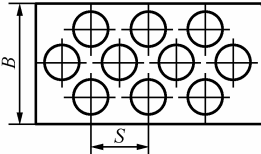
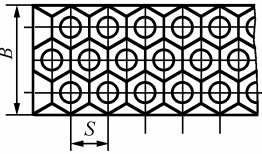
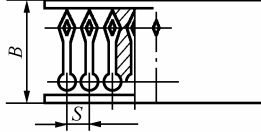
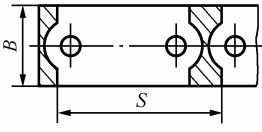
整块板料总的材料利用率 n_0 为:

$$n_0=n_1A/(BL)$$

式中 n_1 —— 一块板料上的冲裁件总数目;
 B —— 板料宽度;
 L —— 板料长度。

表 1-1 排样方法

	有废料排样	少、无废料排样
直排		
斜排		
直对排		
斜对排		

	有废料排样	少、无废料排样
混合排		
多行排		
裁搭边		

1.1.2 冲压排样设计方案

设计冲压模具时，首先要设计条料排样图，这是设计冲压模具的重要依据。其排样要求是：切除废料，将零件留在条料上，分步完成各种工序，最后根据需要将零件从条料上分离下来。条料排样图一旦确定，也就确定了以下几个方面的内容：

(1) 确定了被冲零件在条料上的排列式样、方位，由此决定了冲压方向、材料利用率及条料辗压方向；

(2) 确定了条料载体的形式；

(3) 确定了条料宽度；

(4) 确定了被冲制零件各部分在模具中的冲制顺序及工序内容与数目；

(5) 确定了模具步距的公称尺寸和定距方式；

(6) 确定了模具的工位数；

(7) 基本上确定了模具各工位的结构。

在冲压排样设计时，我们可以采取以下措施提高材料利用率及制件成形性能：

(1) 改进坯料形状，合理排样（如图 1-1 所示）。

(2) 减少搭边，采用少废料或无废料排样（如图 1-2 所示）。

(3) 单列排样改为多列排样。

(4) 多件同时成形、对称成形，成形后再切开。

(5) 对于无底拉深件，可先用带料（条料）焊接后再成形。

(6) 组合排样（如图 1-3 所示）。

(7) 利用废料。

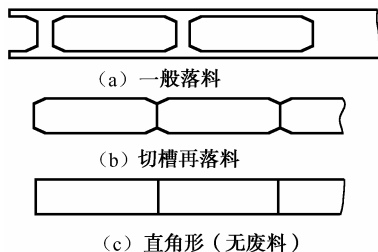


图 1-1 改进坯料形状

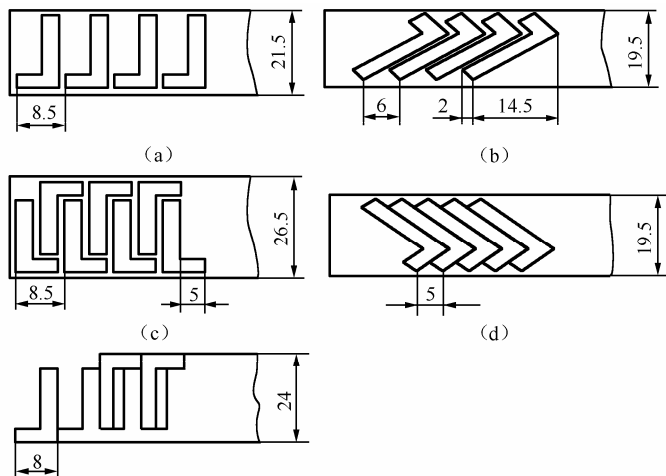


图 1-2 少废料或无废料排样

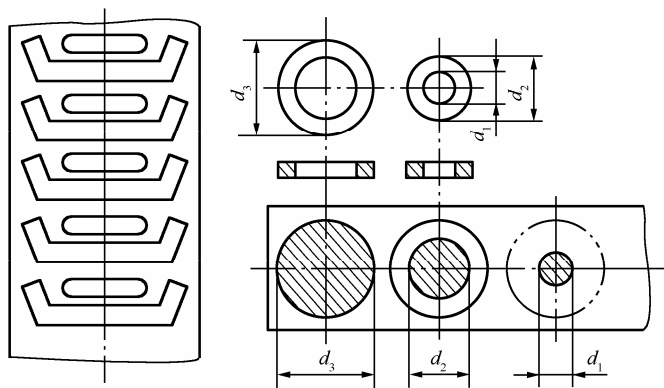


图 1-3 组合排样

1.1.3 搭边

搭边是指排样时冲裁件之间以及冲裁件与条料侧边之间留下的工艺余料。搭边值的大小与下列因素有关：

- (1) 材料的力学性能。硬材料的搭边值可小一些，软材料的搭边值要大一些。
- (2) 工件的形状与尺寸。工件的尺寸大或有圆角半径较小的凸起时，搭边值取大一些。
- (3) 材料厚度。材料厚度大则搭边值取大一些。
- (4) 用手工送料、有侧压装置的模具搭边值可小一些。

搭边值的大小通常是由经验确定的，见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 最小工艺搭边值

(mm)

材料厚度 t	圆件及 $r > 2t$ 的工件		矩形工件边长 $L < 50$ mm		矩形工件边长 $L > 50$ mm 或 $r < 2t$ 的工件	
	工件间 a_1	沿边 a	工件间 a_1	沿边 a	工件间 a_1	沿边 a
< 0.25	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
$0.25 \sim 0.5$	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5
$0.5 \sim 0.8$	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
$0.8 \sim 1.2$	0.8	1.0	1.2	1.5	1.5	1.8
$1.2 \sim 1.6$	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
$1.6 \sim 2.0$	1.2	1.5	1.8	2.0	2.0	2.2
$2.0 \sim 2.5$	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.5
$2.5 \sim 3.0$	1.8	2.2	2.2	2.5	2.5	2.8
$3.0 \sim 3.5$	2.2	2.5	2.5	2.8	2.8	3.2
$3.5 \sim 4.0$	2.5	2.8	2.5	3.2	3.2	3.5
$4.0 \sim 5.0$	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5
$5.0 \sim 12$	$0.6t$	$0.7t$	$0.7t$	$0.8t$	$0.8t$	$0.9t$

注：表列数值适用于低碳钢。对于其他材料，应将表中数值乘以下列系数：中等硬度钢 0.9；硬钢 0.8；硬黄铜 1~1.1；硬铝 1~1.2；软黄铜、紫铜 1.2；铝 1.3~1.4；非金属 1.5~2。

表 1-3 最小工艺搭边值

(mm)

材料厚度 t	手工送料						自动送料	
	圆形		非圆形		往复送料		a_1	a
	a_1	a	a_1	a	a_1	a		
≤ 1	1.5	1.5	1.5	2	2	3		
$1 \sim 2$	1.5	2	2	2.5	2.5	3.5	2	3
$2 \sim 3$	2	2.5	2.5	3	3.5	4		
$3 \sim 4$	2.5	3	3	3.5	4	5	3	4
$4 \sim 5$	3	4	4	5	5	6	4	5
$5 \sim 6$	4	5	5	6	6	7	5	6
$6 \sim 8$	5	6	6	7	7	8	6	7
8	6	7	7	8	8	9	7	8

注：1. 冲非金属材料时（皮革、纸板、石棉板等），搭边值应乘以 1.5~2。

2. 有侧刃的搭边 $a' = 0.75a$ 。

1.1.4 条料宽度和导尺间距离设计

1. 有侧压装置（如图 1-4 所示）

有侧压装置的模具，条料能始终沿基准导料板送进，条料宽度可按下式计算：

$$B=(L+2a)^0_{-\sigma}$$

导尺间距离：

$$A=B+Z_0=L+2a+Z_0$$

2. 无侧压装置（如图 1-5 所示）

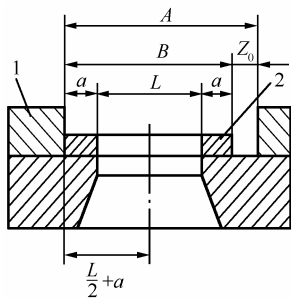
无侧压装置的模具，条料送进时可能因条料的摆动而使侧搭边不能保证，为了保证侧搭边，条料宽度应增加一个可能的摆动量。条料宽度按下式计算：

$$B=(L+2a+Z_0)^0_{-\sigma}$$

导尺间距离：

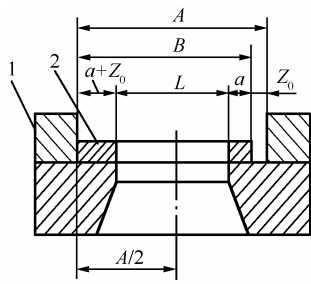
$$A=B+Z_0=L+2a+2Z_0$$

- 式中 B ——条料宽度；
 A ——导尺间距离；
 L ——冲裁件垂直于送料方向的尺寸；
 a ——侧搭边值，见表 1-2 和表 1-3；
 δ ——条料宽度公差，见表 1-4 和表 1-5；
 Z_0 ——条料与导料板之间的间隙，见表 1-6。



1—导料板；2—条料

图 1-4 有侧压装置



1—导料板；2—条料

图 1-5 无侧压装置

表 1-4 龙门剪床剪切条料宽度公差 δ (mm)

条料宽度 B	材料厚度 t			
	≤ 1	1~2	2~3	3~5
≤ 50	0.4	0.5	0.7	0.9
50~100	0.5	0.6	0.8	1.0
100~150	0.6	0.7	0.9	1.1
150~220	0.7	0.8	1.0	1.2
220~300	0.8	0.9	1.1	1.3

注：条料宽度公差标注形式为 $B^0_{-\sigma}$ 。

表 1-5 滚剪机剪切条料宽度公差 δ

(mm)

条料宽度 B	材料厚度 t		
	≤ 0.5	$0.5 \sim 1$	$1 \sim 2$
≤ 20	0.05	0.08	0.10
$20 \sim 30$	0.08	0.10	0.15
$30 \sim 50$	0.10	0.15	0.20

表 1-6 条料与导料板之间的间隙 Z_0

(mm)

条料宽度 B	材料厚度 t			
	≤ 1	1~2	2~3	3~5
≤ 50	0.1	0.2	0.4	0.6
50~100	0.1	0.2	0.4	0.6
100~150	0.2	0.3	0.5	0.7
150~220	0.2	0.3	0.5	0.7
220~300	0.3	0.4	0.6	0.8

3. 有侧刃（如图 1-6 所示）

条料宽度: $B=L+2a'+nb=L+1.5a+nb$ ($a'=0.75a$)

导尺间距离: $A=B+Z_0=L+1.5a+nb+Z_0$

$$A_1=L+1.5a+Y$$

式中 L ——冲裁件垂直于送料方向的尺寸;

n ——侧刃数;

b ——侧刃切去的条料宽度, 见表 1-7;

Y ——冲切后条料宽度与导料板的间隙, 见表 1-7。

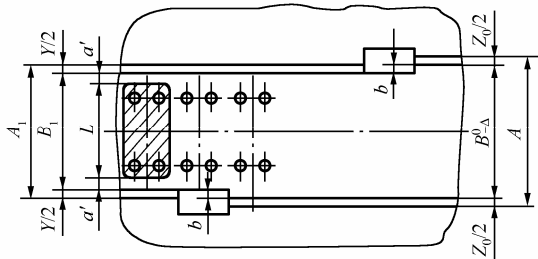


图 1-6 有侧刃定位的条料宽度及导尺间距离

表 1-7 b 、 Y 值

(mm)

条料厚度 t	b		γ
	金属材料	非金属材料	
≤ 1.5	1.5	2	0.10
1.5~2.5	2.0	3	0.15
2.5~3	2.5	4	0.20

1.2 凸、凹模工作尺寸与公差计算技巧

1.2.1 冲裁凸、凹模型面工作尺寸计算

1. 确定工作尺寸应考虑的因素

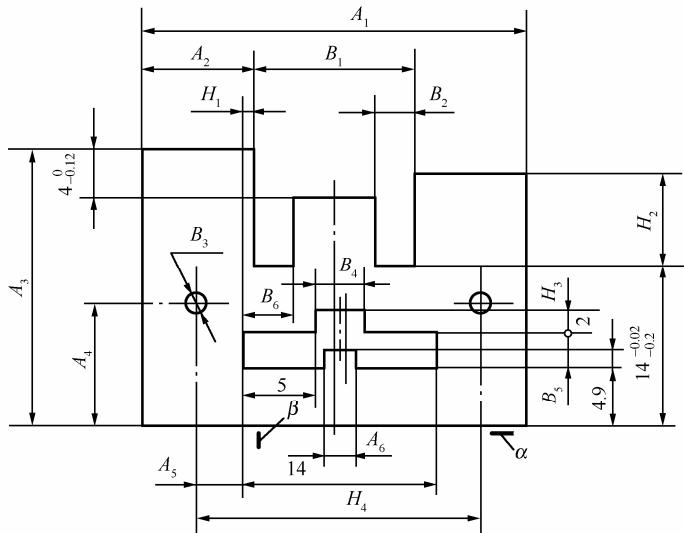
工作尺寸是冲压件尺寸在冲切型面的反映, 确定凸、凹模型面工作尺寸时应考虑下列因素:

- (1) 冲压件尺寸的类别与精度;
- (2) 模具的合理加工精度;
- (3) 模具加工中可能出现的超差和补救措施;
- (4) 模具长期使用时磨损产生的尺寸变化;
- (5) 冲后制件尺寸与型面工作尺寸的差别。

2. 尺寸分类及各类尺寸的表示方法技巧

(1) 仿照轴、孔、长度尺寸的规定, 可将尺寸分为三种类型, 即外形尺寸、内形尺寸和长度尺寸。外形尺寸的上偏差及内形尺寸的下偏差均应为零; 长度尺寸应正负偏差对称分布。冲压零件图纸如果已标明公差, 但其分布不符合上述原则时应在计算凸、凹模工作尺寸之前予以改注。如何区分尺寸的类型可参见图 1-7, 其中, A 表示外形尺寸, B 表示内形尺寸, H 表示长度尺寸。改写时其名义尺寸可以改变, 但公差的大小应保持原值。下面列出部分经改写后的尺寸。

$$A_2 = 9.2 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.15 \end{smallmatrix}, A_4 = 10.05 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.1 \end{smallmatrix}, B_2 = 2.85 \begin{smallmatrix} +0.10 \\ 0 \end{smallmatrix}, \\ H_2 = 8.075 \text{ 北 } 0.075, H_3 = 1.95 \quad 0.05$$



材料: 料厚 $t=1.0 \text{ mm}$, $\tau=303\sim373 \text{ MPa}$, $C=0.06\sim0.08 \text{ mm}$, 自由公差 IT12,

$$A_1=30 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.21 \end{smallmatrix}, A_2=9 \begin{smallmatrix} +0.2 \\ +0.05 \end{smallmatrix}, A_3=24 \text{ 北 } 0.1, A_4=10 \quad 0.05, A_5=4, A_6=2, B_1=12 \begin{smallmatrix} +0.18 \\ 0 \end{smallmatrix}, B_2=3 \begin{smallmatrix} 0.05 \\ -0.15 \end{smallmatrix}, \\ B_3=\phi 3 \begin{smallmatrix} +0.2 \\ +0.1 \end{smallmatrix}, B_4=4 \text{ 北 } 0.06, B_5=3 \begin{smallmatrix} +0.025 \\ 0 \end{smallmatrix}, B_6=3.5, H_1=0.5, H_2=8 \begin{smallmatrix} +0.15 \\ 0 \end{smallmatrix}, H_3=2 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.1 \end{smallmatrix}, H_4=21 \quad 0.1$$

图 1-7 尺寸的类型

如图 1-7 所示部分尺寸未标明公差，一般可查阅产品图有关自由公差要求（此例自由公差为 IT12），也可按照 IT14 标准公差值选取，公差分布应符合上述原则。

尺寸类型不同，则在加工模具中形成难以修复的超差的方向不同，冲压时的磨损方向也不同。冲件的外形尺寸反映在模具上则是内形尺寸，其不易弥补的超差和磨损使工件尺寸加大，冲件的内形尺寸则反之；冲件的长度尺寸与模具相应的长度尺寸一致，一般不随磨损而改变。公差取值方向的上述规定有利于避免加工中产生不易修复的超差，而要避免磨损超差则需在模具尺寸取值时解决。

（2）根据冲压工序的性质，也可将冲裁尺寸分为落料尺寸、冲孔尺寸和表达孔位置尺寸（这三类尺寸中都可含有外形尺寸、内形尺寸、长度尺寸）。尺寸类型不同，则其在模具上的基准型面不同。

3. 凸、凹模型面尺寸与冲件尺寸的关系

由冲裁原理可知，冲裁件的任一尺寸都取决于凸模或凹模的型面工作尺寸。其中，落料尺寸取决于凹模；冲孔尺寸取决于凸模；位置尺寸取决于冲孔凸模和落料凹模或冲孔凸模和另一冲孔的相对位置。这些起决定作用的型面即为基准型面，其尺寸大致等于冲件尺寸（随冲裁间隙的不同而有一定差别）。与基准型面相配合的型面为相关型面，两者相差一冲裁间隙值，相关型面反映了冲裁断面的斜度。

1.2.2 型面尺寸计算与给定

计算模具型面工作尺寸时，首先应计算出基准型面尺寸。在具体给定模具型面尺寸时，可以采用三种方法：基准型面法，全注公差法和尺寸转换法。

1. 基准型面尺寸计算

基准型面工作尺寸计算公式如下。

冲件外形尺寸为 A_{Δ}^0 ，型面工作尺寸为：

$$a_{\Delta/4}^{+\Delta/4} = (A - 0.75\Delta)_{\Delta/4}^{+\Delta/4}$$

冲件内形尺寸为 $B_{\Delta}^{+\Delta}$ ，型面工作尺寸为：

$$b_{\Delta/4}^0 = (B + 0.75\Delta)_{\Delta/4}^0$$

冲件长度尺寸为 $H \pm \Delta/2$ ，型面工作尺寸为：

$$h \pm \Delta/8 = H \pm \Delta/8$$

式中， Δ 为冲压件公差， $\Delta/4$ 为模具制造公差。模具公差的取值方向亦应根据尺寸的类型决定。当凸、凹模单独制造时，两者公差值之和应小于冲裁间隙的允许变化范围，否则应在合理的加工精度范围内缩小公差值或采用配间隙法来保证所要求的冲裁间隙。系数 0.75 的选取考虑到凸、凹模的制造公差取向，工作型面在使用中的磨损及制造产生超差后的使用与返修。对于冲件精度较高、模具公差值 $\Delta/4$ 难以保证者，可将系数 0.75 加大至 1，以便在冲件精度允许范围内加大模具制造公差并仍留有一定的磨损量。值得提出的是，近年来由于数控加工机床的逐渐采用，其精度已达 μm 级，因而在给定图纸尺寸时几乎不再考虑制造公差的影响。

2. 基准型面法

当给定基准型面尺寸后，其相关型面可仅给出与基准型面一致的名义尺寸，在技术要求中注明相关型面按基准型面配单面冲裁间隙即可（间隙值按下限给）。采用此种方法，凸、凹模需要修配。如果采用较精密的机械或电加工手段，则两相关件可独立加工，仅留很小研磨量。

3. 全注公差法

当加工手段较为精密,可直接保证尺寸及冲裁间隙公差时,可在凸、凹模上分别标注公差,这种方法的相关型面尺寸计算公式如下:

$$\begin{aligned}a' &= (a - 2C_{\min}) - \frac{\Delta}{4} \\b' &= (b + 2C_{\min}) + \frac{\Delta}{4} \\h' &= h \pm \Delta/8\end{aligned}$$

采用该方法,通常需要提高型面的制造精度,否则冲裁间隙值极易超差,尤其是涉及落料或冲孔尺寸中的长度尺寸时,必须进行冲裁间隙值的校核。必要时提高制造精度或在技术条件中注明两者尺寸要求一致,最终采用研配法加以解决。对于单向冲裁面,式中单面冲裁间隙 C 不乘以 2。

4. 尺寸转换法

在连续或复合冲裁模具中,会涉及孔至冲件边的位置尺寸。该尺寸的基准型面分布在一对组合件上,难以依靠机床的加工精度保证,而它们的落料和冲孔尺寸的相关型面采用配间隙法时,需要相互来回配,加工麻烦。为此,常将基准型面尺寸全部转换到连续模的凹模或复合模的凸、凹模上,并标注公差。转换时,应保证转换前后的尺寸相差一最小冲裁间隙值。转换公式为:

$$\begin{aligned}a'' &= (a + \frac{\Delta}{4} - 2C_{\min}) - \frac{\Delta}{4} \\b'' &= (b - \frac{\Delta}{4} + 2C_{\min}) + \frac{\Delta}{4}\end{aligned}$$

长度尺寸转换后与基准型面原尺寸一致。对于单面冲裁,式中冲裁间隙不乘以 2。转换后的相关型面,可按配间隙法给定尺寸,但应校核原基准型面可能达到的尺寸是否适用。当冲件尺寸公差过小时,不适宜进行尺寸转换。

1.2.3 凸、凹模尺寸线注法

1. 凹模尺寸注法技巧

(1) 整体凹模

通常将凹模中心与冲压件压力中心重合,从此中心引出型腔设计基准的位置尺寸线,其后再按机械制图国家标准尺寸线注法,将计算出的型腔工作尺寸标注在图纸上。

型腔设计基准可为型面、轴线或轴线交点。图 1-7 所示零件设计基准为 α 和 β 面;图 1-8 所示零件设计基准为对称轴交点。模具型腔设计基准可与零件设计基准一致。

产品零件设计基准一般是根据产品装配需要选定的。图 1-9 所示零件为电机定子冲片。

(2) 整体组合凹模

通常是从整体组合凹模的压力中心向其中的一个凹模拼合面引出尺寸线,再从此拼合面向另一拼合面引出尺寸线,以此类推。整体组合凹模中的每一块凹模都是从拼合面向该凹模型腔的设计基准引尺寸线,该型腔的其余尺寸标注同整体凹模。

(3) 镶拼凹模

由凹模拼块拼成的凹模或有镶块的凹模通常在拼块或镶块的组合图上标注尺寸,其标注法同整体凹模,以保证凹模组装后的精度。单个拼块的型面尺寸,可从拼合面引出尺寸线,其制造精度应满足组合后的要求,镶块尺寸可从镶拼基准面或对称轴引出尺寸线。

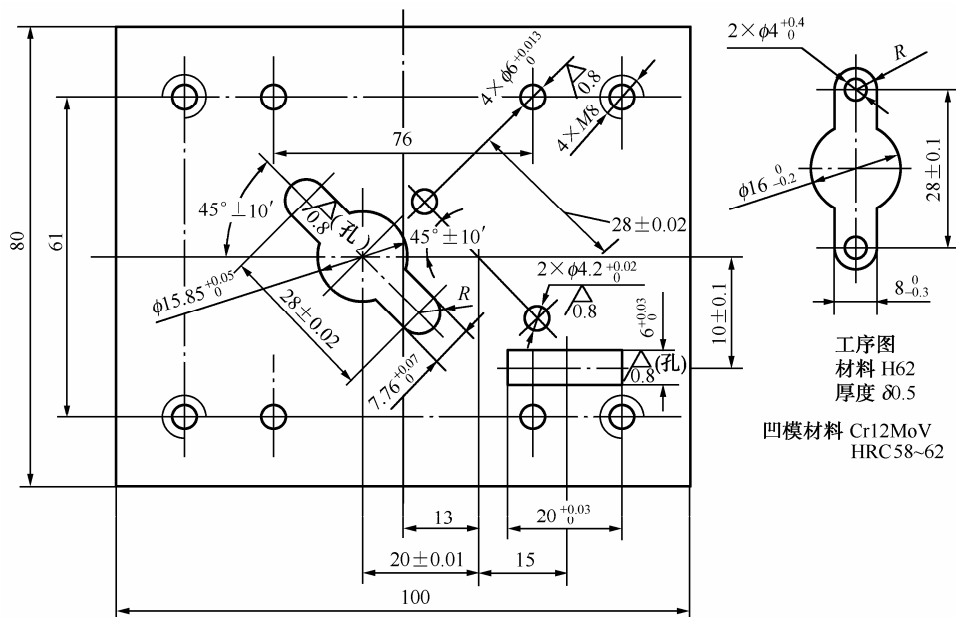


图 1-8 连接片凹模

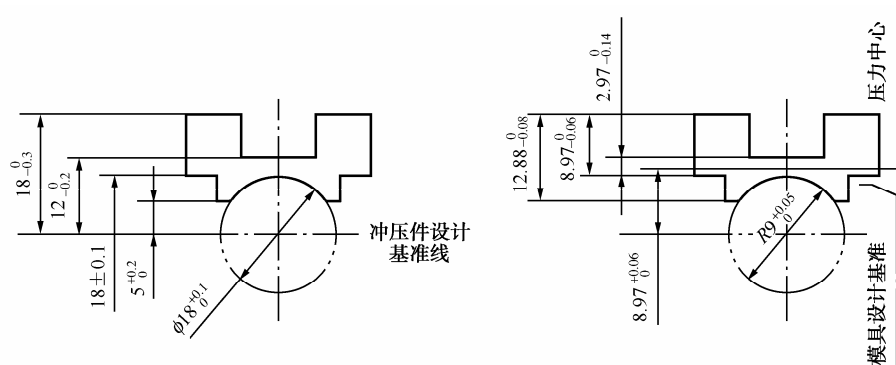


图 1-9 电机定子冲片

2. 凸模尺寸注法技巧

凸模尺寸标注类似凹模型腔，即从设计基准（面或轴线）向其他型面引尺寸，其标注法最好和相应的凹模型腔一致，以便于保证冲裁间隙的均匀性。组合凸模尺寸注法与镶拼凹模类似。

3. 凸模和凹模型腔相对位置尺寸注法技巧

凸模的位置尺寸主要取决于凸模的安装定位面，后者通常设置在凸模或凸、凹模固定板或卸料导板上。凸模安装孔的尺寸注法类似于凹模型腔。压力中心向凸模固定板型腔设计基准（通常与凹模型腔设计基准一致）引出的位置尺寸线一般也不注公差，而是在装配时保证凸模和凹模型腔的同轴度。对于连续模来说，无论凹模还是凸模固定板，都有两个或两个以上的型腔。对于冲孔之间的位置尺寸，应在凸模固定板（或卸料导板）上标出公差，凹模冲孔型腔之间只注名义尺寸不注公差，而在技术条件上注明孔间距与固定板一致——此为“基准面法”。若采用“全注公差法”，则难以保证间隙均匀；若采用“尺寸转换法”，则必须提

高制造精度。对于“冲孔”与“落料”之间的位置尺寸，其基准型面在凸模和凹模型腔构成的组合面上，宜采用“尺寸转换法”，在凹模“落料”和“冲孔”型腔之间注尺寸及公差，凸模固定板安装孔之间只注名义尺寸，技术条件注明孔距与凹模一致。对于复合冲裁模来说，也存在上述问题，宜将尺寸转换到凸、凹模上。

凸模固定板型腔如果是轴对称件，其设计基准线最好放在对称轴线上。否则，即使固定板型腔与凸模刃口型面一致，转换起来也比较麻烦，因为凸模型面既存在与凸模固定孔型面的差异，也存在与凹模型面的差异。图 1-7 所示的 H_1 和 A_5 尺寸，分别表示型孔与外形和圆孔之间的相对位置，实际很难保证。它们所涉及的 B_1 和 H_4 尺寸具有共同的对称轴（也是 A_1 的对称轴），尺寸 14 所示型腔也是轴对称的。因此，在给定冲压件尺寸时宜改为标注轴线之间的距离。模具尺寸标注时，从压力中心向轴线构成的“设计基准”引出位置尺寸。改注后的尺寸应经校核，看是否满足原工件设计要求。

1.3 冲裁工艺力的计算技巧

冲裁工艺力包括冲裁力、卸料力、推件力和顶件力，如图 1-10 所示。

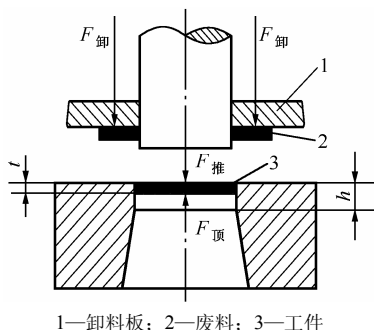


图 1-10 卸料力、推件力和顶件力

1.3.1 冲裁力计算

1. 平刃冲裁的冲裁力 F

$$F = 1.3 \tau L t$$

式中 τ ——材料抗剪强度；
 L ——冲裁周边总长；
 t ——材料厚度；

1.3 为考虑到模具间隙不均匀、刃口的磨损、板料力学性能和厚度波动等因素的影响给出的修正系数。

2. 斜刃冲裁的冲裁力 F'

如图 1-11 所示，由于冲裁时刃口逐步切入材料，从而使冲裁力减小，冲裁力可按式计算：

$$F' = K \tau L t$$

式中 F' ——斜刃冲裁的冲裁力；

K ——系数，与斜刃高度差 H 有关，当 $H=t$ 时， $K=0.4\sim0.6$ ；当 $H=2t$ 时， $K=0.2\sim0.4$ 。

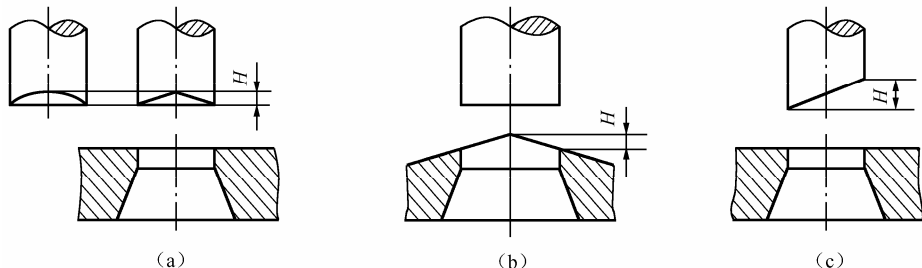


图 1-11 斜刃冲裁

1.3.2 卸料力 $F_{卸}$ 、推件力 $F_{推}$ 和顶件力 $F_{顶}$ 计算

$$F_{卸} = K_{卸} F$$

$$F_{推} = n K_{推} F$$

$$F_{顶} = K_{顶} F$$

式中 F ——平刃冲裁的冲裁力；

n ——下出件时，同时卡在凹模洞口里的工件（废料）数目；

$K_{卸}$ 、 $K_{推}$ 、 $K_{顶}$ ——分别为卸料力系数、推件力系数、顶件力系数，见表 1-8。

表 1-8 $K_{卸}$ 、 $K_{推}$ 、 $K_{顶}$ 值

材料及厚度		$K_{卸}$	$K_{推}$	$K_{顶}$
钢	≤ 0.1	0.065~0.075	0.1	0.14
	0.1~0.5	0.045~0.055	0.063	0.08
	0.5~2.5	0.04~0.05	0.055	0.06
	2.5~6.5	0.03~0.04	0.045	0.05
	> 6.5	0.02~0.03	0.025	0.03
铝、铝合金		0.025~0.08	0.03~0.07	
紫铜、黄铜		0.02~0.06	0.03~0.09	

1.3.3 压力机公称压力的选择

冲裁时，压力机的公称压力必须大于或等于各工艺力的总和 F_{Σ}

当采用弹压卸料装置和下出件的模具时：

$$F_{\Sigma} = F + F_{卸} + F_{推}$$

当采用弹压卸料装置和上出件的模具时：

$$F_{\Sigma} = F + F_{卸} + F_{顶}$$

当采用刚性卸料装置和下出件的模具时：

$$F_{\Sigma} = F + F_{推}$$

1.4 冲裁模压力中心的选定技巧

冲压力合力的作用点称为冲模（冲裁模）的压力中心。为了保证压力机和模具正常工作，

设计冲裁模排样时, 应该使冲模的压力中心与模柄轴线重合。

形状对称的工件, 如圆形、矩形、正多边形等, 其压力中心与工件的几何中心重合。形状复杂的工件、多凸模及级进模的压力中心通常用计算法求得。

1.4.1 复杂形状冲裁件排样模具的压力中心确定

复杂形状冲裁件排样模具的压力中心如图 1-12 所示。模具压力中心的确定程序如下:

(1) 画出冲裁件图, 即凸模工作刃口轮廓图。

(2) 任选一坐标系 XOY (坐标系的选择应尽量使计算方便)。

(3) 将冲裁件轮廓分成若干基本线段 (直线或圆弧), 计算各基本线段的长度 L_1 、 L_2 、 \cdots 、 L_n 。

(4) 计算各基本线段的重心 C 到 Y 轴的距离 x_1 、 x_2 、 \cdots 、 x_n , 以及到 X 轴的距离 y_1 、 y_2 、 \cdots 、 y_n 。

直线段的重心在线段的中点; 圆弧的重心位置按下式计算 (如图 1-13 所示):

$$Z = (R \sin \alpha) / \alpha = Rb/S$$

式中 α ——圆弧所对应角的一半;

b ——弦长;

S ——弧长;

R ——圆弧半径。

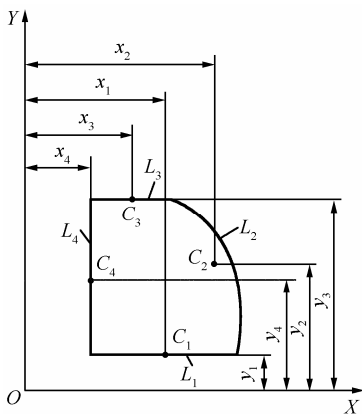


图 1-12 复杂形状冲裁件排样模具的压力中心

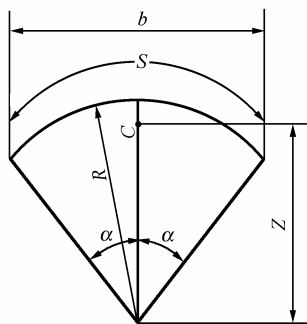


图 1-13 圆弧的重心位置

(5) 根据“合力对某轴之力矩等于各分力对同轴力矩之和”的力学原理可分别按下列公式求冲模压力中心到 X 轴和 Y 轴的距离。

压力中心到 Y 轴的距离:

$$X = (L_1 x_1 + L_2 x_2 + \cdots + L_n x_n) / (L_1 + L_2 + \cdots + L_n)$$

压力中心到 X 轴的距离:

$$Y = (L_1 y_1 + L_2 y_2 + \cdots + L_n y_n) / (L_1 + L_2 + \cdots + L_n)$$

1.4.2 多凸模冲裁排样时模具的压力中心确定

多凸模冲裁排样时模具的压力中心如图 1-14 所示。采用复合模将外部轮廓和四个不同形状的孔同时冲出, 其冲模压力中心按以下程序进行计算:

- (1) 选定坐标系 XOY (为计算方便, X 轴、 Y 轴分别与外轮廓两条边重合)。
- (2) 分别求出各凸模刃口的周长 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 及重心坐标 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 和 y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 、 y_5 。
- (3) 冲模压力中心到坐标轴的距离可按复杂形状冲裁压力中心计算公式求得。

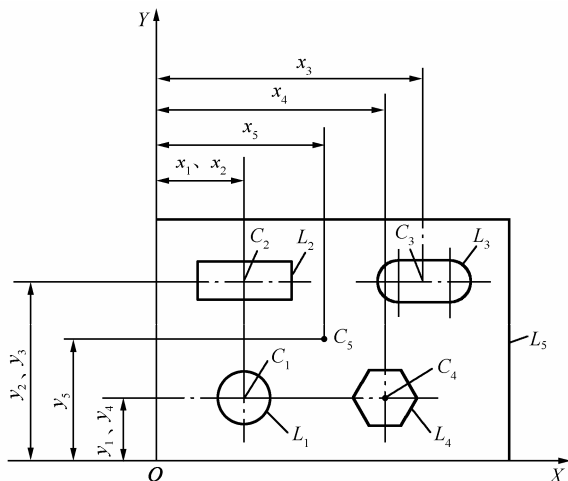


图 1-14 多凸模冲裁排样时模具的压力中心

1.5 冲裁凹模设计技巧

1.5.1 冲裁凹模的结构形式选择

1. 整体式凹模

整体式凹模是指冲裁型腔含于内部的凹模。

整体式凹模外形多采用矩形或圆形等规则形状。中小型圆形冲件所需凹模多采用圆形, 其余多采用矩形凹模, 矩形凹模有利于确定凹模装配的基准, 且中型矩形毛坯也容易制备。

为了便于加工和装配, 含有多个型腔的中型整体凹模常由若干块整体凹模组合而成。各块凹模可分别镶入或用其他方法固定在凹模座或模板上。

2. 镶拼式凹模

当凹模型腔过小或过大时均不便于加工, 有时也需考虑节约制模材料或维修模具的方便性, 因此, 常将凹模型腔用若干块拼块(镶块)组合起来, 形成镶拼式凹模。

(1) 镶拼式凹模的结构形式

a. 平面式。大型冲件的拼块较大时, 可将拼块直接紧固在模座平面上, 称为平面式(参见图 1-15)。为防止拼块窜动, 可在四周增加止动键。

b. 压入式。压入式拼装结构是将凹模座开出通槽或孔(通孔或盲孔), 将凹模拼块组合好后压入凹模座。压入深度及压合量应视凹模型腔所需的锁紧力而定。为便于拆模, 亦可采用小压合量加斜楔或紧定螺钉紧固。凹模座亦可用拼装框架。

(2) 拼块设计原则

a. 设计拼块时接缝应尽量避免与冲切刃口轮廓线成锐角，否则易崩刃，参见图 1-16。

b. 设计拼块时，刃口处的分块点应取在拐角或直线与曲线相接处附近的直线段上，或取在对称轴上，凸、凹模拼块接缝处应错开，否则易产生毛刺，如图 1-15 和图 1-17 所示。图 1-15 所示的腰形槽是为了减少拼接面，以利于加工和拼接。

设计拼块时应考虑加工与维修的工艺性，如尖角、沟槽处应分开，以便于加工和防止开裂；过小或过大的型腔也应分开，尽量将内形加工改为外形加工；受力的悬臂部分最好做成镶件，以防止根部应力集中而断裂，如图 1-18~图 1-22 所示。

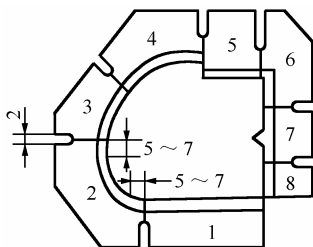


图 1-15 平面式

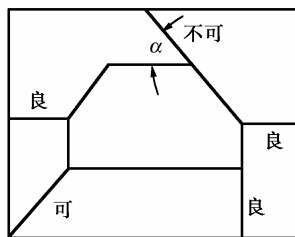
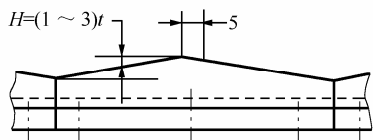
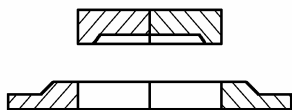


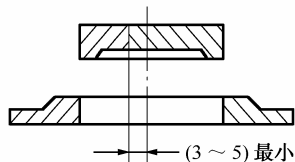
图 1-16 复杂工件镶拼



(a) 凸、凹模拼块



(b) 不好



(c) 好

图 1-17 凸、凹模拼块接缝

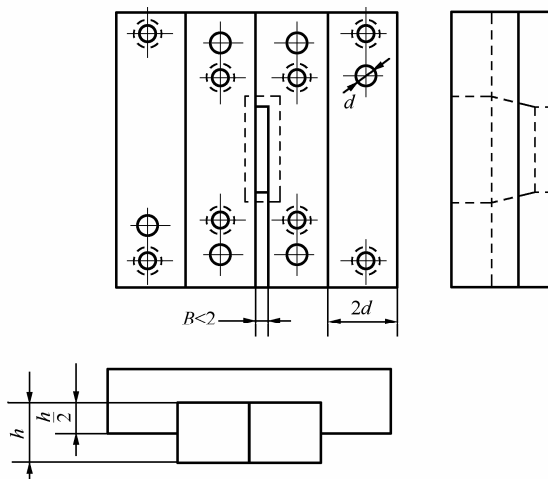


图 1-18 二面凸边式

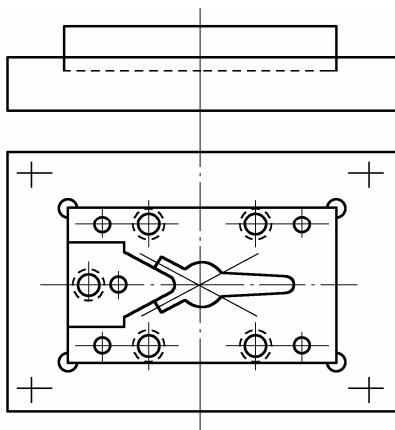


图 1-19 四面凸边式

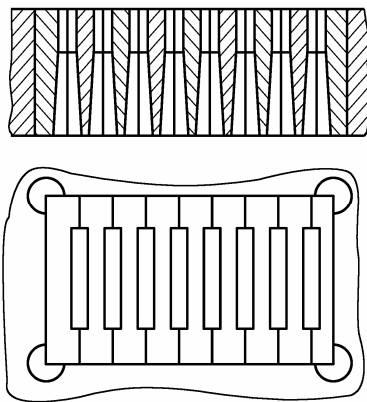


图 1-20 四面埋入式

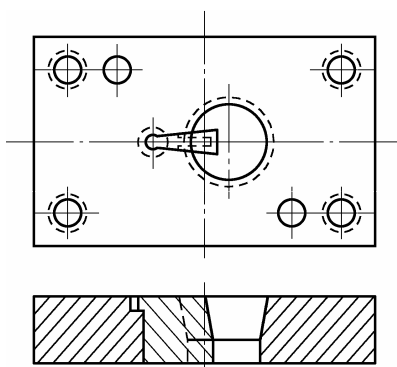


图 1-21 镶件装法一

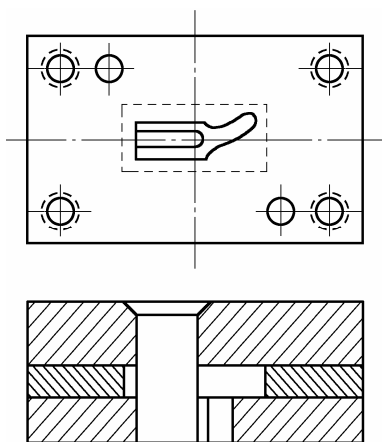


图 1-22 镶件装法二

1.5.2 凹模结构尺寸计算

1. 外形尺寸计算技巧

(1) 厚度尺寸计算技巧

凹模理论厚度可按下列经验公式计算：

$$H=0.25(LP^2)^{1/6}$$

式中 L ——轮廓周长 (mm)；

P ——冲裁力 (N)。

凹模实际厚度应在理论厚度基础上增加修磨量，但用于 160 kN 以下冲床的小型凹模，凹模实际厚度一般小于 25 mm；大中型凹模也不超过 50 mm。使用时凹模背面应用平板支撑，当厚度超过上述值时，可采用较厚平板加固。

(2) 长、宽尺寸计算技巧

切断轮廓线到凹模边缘的尺寸如图 1-23 所示。

轮廓为平滑曲线时， $W_1 \geq 1.2H$ ；轮廓为直线时， $W_2 \geq 1.5H$ ；复杂情况或尖端状况时， $W_3 \geq 2H$ 。其中， H 为凹模理论厚度； W 尺寸取决于型腔侧壁挤压应力（约为 40% 的被冲材料的剪切应力）。

上述尺寸用于凹模边界为自由状态。当凹模边界有预应力时， W 值可适当减小。图 1-23 中两型孔之间最小壁厚一般不小于 5 mm。

(3) 螺钉孔到凹模外缘的尺寸计算技巧

如图 1-24 所示，标准尺寸， $a=(1.7-2.0)d$ ；最小允许尺寸见表 1-9。

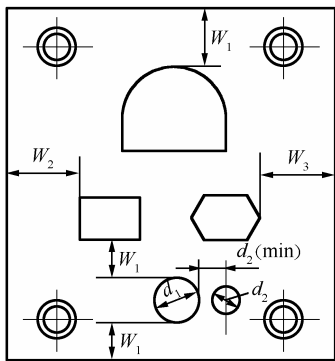


图 1-23 切断轮廓线到凹模边缘的尺寸

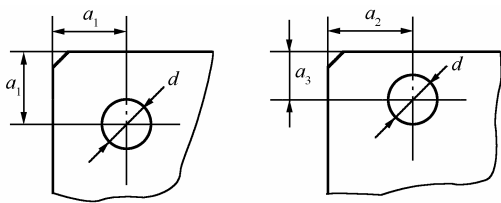


图 1-24 螺钉孔到凹模外缘的尺寸

表 1-9 最小允许尺寸

模具材料状况	等距时 (a_1)	螺孔距外周不等距时	
		a_2	a_3
未经热处理	$1.13d$	$1.5d$	$1d$
淬火硬化	$1.25d$	$1.5d$	$1.13d$

2. 紧固孔尺寸确定技巧

(1) 螺钉规格

螺钉规格根据凹模厚度按表 1-10 确定。

表 1-10 凹模厚度与螺钉规格

凹模厚度 (mm)	<13	13~19	19~25	25~32	>32
使用螺栓	M4, M5	M5, M6	M6, M8	M8, M10	M10, M12

(2) 螺孔到凹模孔及圆柱销孔尺寸

螺孔到凹模孔及圆柱销孔的尺寸，根据螺孔直径，综合利用图 1-25 和表 1-11 确定。

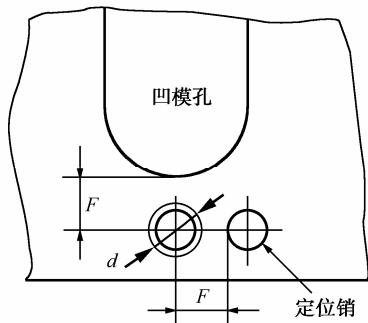


图 1-25 螺孔到凹模孔及圆柱销孔的尺寸

标准尺寸， $F>2d$ ；最小允许尺寸见表 1-11。

表 1-11 最小允许尺寸

模具材料状况	最小尺寸 F_{\min}
未经热处理	$1d$
淬火硬化	$1.3d$

(3) 螺孔间距

螺孔间距按凹模厚度和螺孔直径综合确定，见表 1-12。

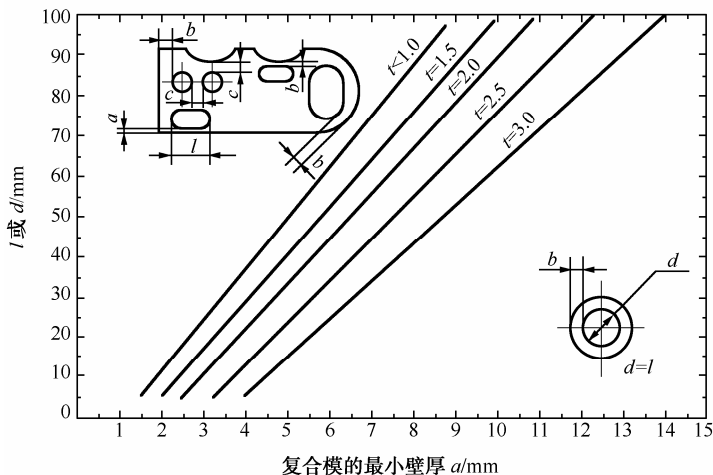
表 1-12 螺孔间距的标准尺寸 (mm)

使用螺栓	最小距离	最大距离	凹模厚度
M5	15	50	10~18
M6	25	70	15~25
M8	40	90	22~32
M10	60	115	27~38
M12	80	150	35 以上

3. 凸、凹模的最小壁厚确定技巧

凸、凹模的最小壁厚实际上取决于冲裁力与该处的抗变形能力这一对矛盾力。在形状与材料一定时，如何减小冲裁力，提高该处的抵抗变形能力则是设法减小最小壁厚的关键。其有效方法为努力提高刃口的锋利度，降低粗糙度，选择合理的冲裁间隙，并尽量保持两侧冲裁间隙均匀一致。

凸、凹模的最小壁厚按凹模厚度和螺孔直径综合确定，如图 1-26 所示。



- 注：1. 本线图的 a 值适用于 $\tau \leq 400$ MPa 的冲压材料，对于 $\tau = 600$ MPa 的冲压材料应乘以 1.2。
2. $b = 0.9a$ ， $c = 0.8a$ 。
3. 圆弧部分狭边长度 l 按弦长计算，同心圆狭边长度等于直径。

图 1-26 凸、凹模的最小壁厚

4. 凹模型腔的截面尺寸与形状确定技巧

凹模型腔的形状如图 1-27 所示, 图 (a) 所示形状一般用于带有顶件器的凹模; 图 (d) 所示形状为电火花加工的型腔。图 (b)、(c) 为垂直壁刃口, 刃口修磨后工作尺寸不会发生变化, 刃口强度较高, 制造方便, 适用于形状复杂、质量要求较高的工件, 但工件或废料与型腔侧壁摩擦阻力大。加大冲裁间隙减小摩擦力时, 工件易反跳回凹模上平面。刃口直壁部分之后常扩大制造, 以便于工件或废料的排出。图 (b) 与图 (f) 所示形状常用于圆形型腔; 图 (c) 与图 (e) 所示形状常用于非圆形工件。

按所冲材料厚度确定凹模工作部分主要参数, 见表 1-13。

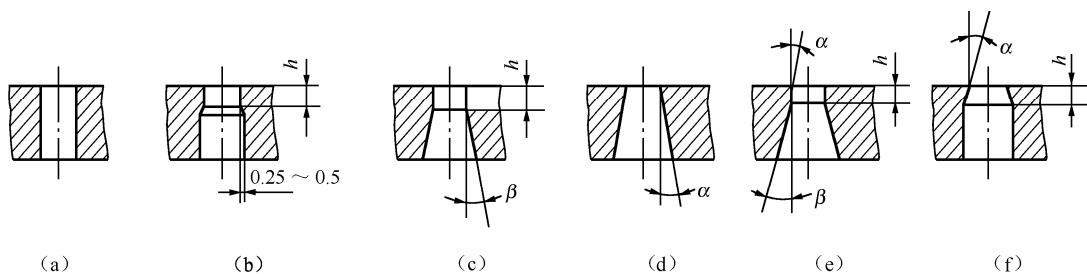


图 1-27 凹模型腔的形状

表 1-13 凹模工作部分主要参数

材料厚度	h (mm)	α	β
≤ 0.5	≥ 4	$15' \sim 30'$	2°
$0.5 \sim 1$	≥ 5		
$1.0 \sim 2.5$	≥ 6		
$2.5 \sim 6.0$	≥ 8	$30' \sim 1^\circ$	3°

注: 上述 α , β 值适用于手工加工。电火花加工时, $\alpha=4' \sim 20'$, $\beta=30' \sim 50'$; 线切割加工时, $\beta=1^\circ \sim 1.5^\circ$ 。刃口部位粗糙度一般不高于 $0.80 \mu\text{m}$ 。

1.6 冲裁凸模设计技巧

1.6.1 凸模结构与装配设计

与模柄连接的凸模装配设计如图 1-28 所示。与凸模座连接的凸模装配设计如图 1-29 所示。便于拆卸的凸模设计如图 1-30 所示, 其中图 (a)、图 (b)、图 (c) 可从模具上面拆卸下来, 图 (a) 用于大凸模, 图 (b) 用于中、小凸模, 图 (c) 用于小凸模; 图 (d)、图 (e)、图 (f) 可从分模面拆卸下来, 以便于在冲床上快速更换凸模; 图 (c) 也可将螺钉取消, 采用紧配合。

图 1-29、图 1-30 所示凸模上下一致的, 可以采用数控线切割机床或光学磨床加工, 以保证尺寸精度。局部台阶式凸模的台阶应留在直线刃口部位, 以便其他复杂型面用线切割加工出来。

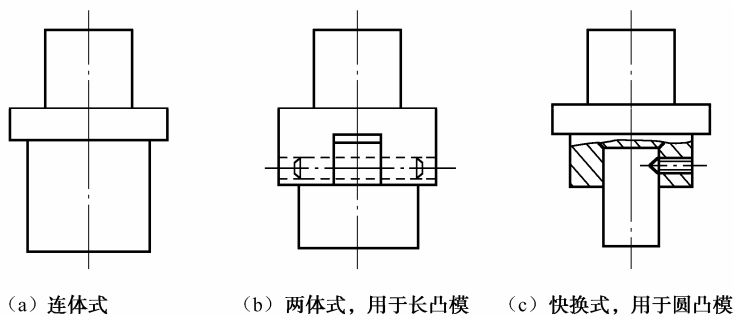


图 1-28 与模柄连接的凸模装配设计

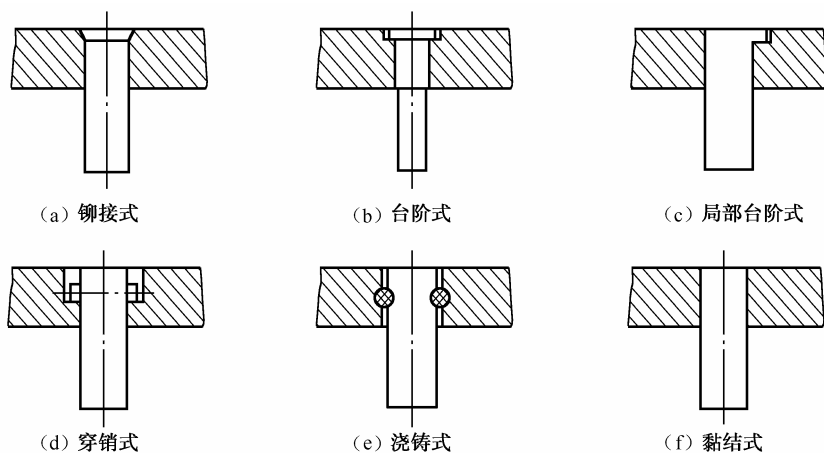


图 1-29 与凸模座连接的凸模装配设计

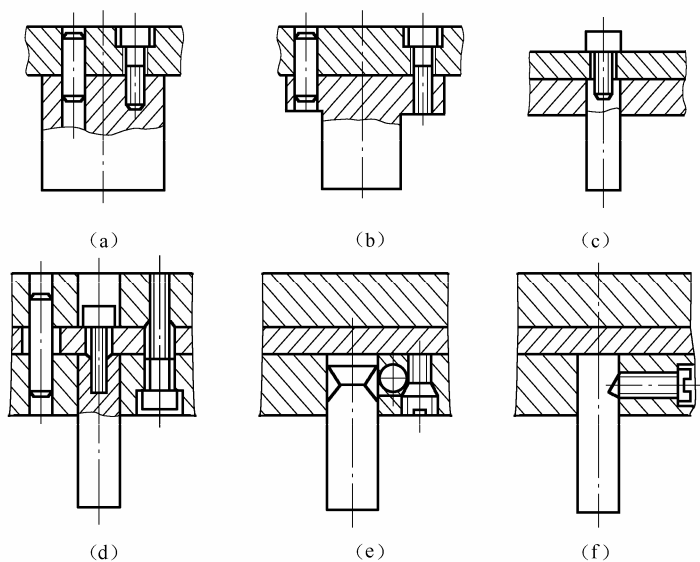


图 1-30 便于拆卸的凸模设计

1.6.2 凸模的结构尺寸设计

1. 凸模可能产生的破坏形式及对策

(1) 冲裁时, 由于冲裁力的作用, 凸模刃口部位承受极大的压应力, 而在卸料时又承受拉应力, 因而刃口部位除了磨损还会由于交变应力的作用产生疲劳破损。因此在选择凸模材料时, 应尽量减少碳化物偏析, 并且有足够的强韧性和耐磨性。

(2) 由于凸模端面承受的压力, 凸模最小截面可能会产生压缩性破裂, 必要时, 应做强度校核。

(3) 对于细长凸模, 凸模也可能产生纵向失稳而导致凸模折断。必要时应做弯曲应力校核, 并采取相应的保护措施。

(4) 由于冲裁间隙不均匀, 凸模亦可能产生横向弯曲破裂。

(5) 非封闭形状冲裁时, 由于冲裁刃口部位产生的侧向挤压力, 凸模也会产生横向弯曲, 形成啃刃, 造成凸模松动, 甚至破裂。因此, 常在相应的部位加以支撑限位或采用斜刃冲裁, 如图 1-31 所示。

(6) 凸模固定部位的端面对模板的压力也可能造成压缩性破坏, 亦应进行强度校核。必要时, 应改变承力部位的材料, 提高抗压强度。

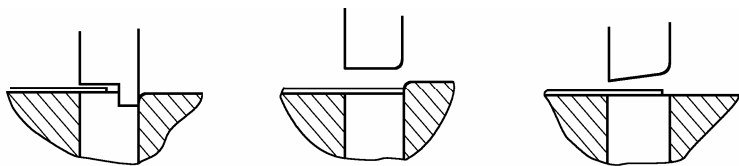


图 1-31 非封闭形状冲裁凸模

2. 凸模强度校核

(1) 压应力校核, 按下式计算:

$$P/F_k \leq [\sigma_{0.2c}]$$

式中 $[\sigma_{0.2c}]$ ——许用压应力;

P ——冲裁力;

F_k ——刃口与材料接触面积。

(2) 纵向弯曲应力校核

凸模不发生纵向失稳的许用压应力与凸模的结构形式、尺寸及其弹性模量有关。校核时应先判断凸模的类型。

① 凸模类型的判断。

a. 长度系数 μ 。

其数值与凸模端部支撑状态有关。

等截面凸模:

模具有导柱及卸料板时, $\mu = \mu_0 = 1.00 \sim 1.35$; 模具有导柱及导向卸料板时, $\mu_0 = 0.5 \sim 0.7$ 。

单台阶凸模:

$$\mu = \mu_0 \sqrt{\frac{l_2}{l} + \frac{J_2 l_1}{J_1 l} - \frac{1}{\pi} \left(\frac{J_2}{J_1} - 1 \right) \sin \frac{\pi l_2}{l}}$$

二台阶凸模:

$$\mu = \mu_0 \sqrt{\frac{J_3}{l} \left(\frac{l_3}{J_3} + \frac{l_2}{J_2} + \frac{l_1}{J_1} \right) + \frac{J_3}{\pi} \left[\left(\frac{1}{J_3} - \frac{1}{J_2} \right) \sin \frac{\pi l_3}{l} + \left(\frac{1}{J_2} - \frac{1}{J_1} \right) \sin \frac{\pi(l_3 + l_2)}{l} \right]}$$

变截面凸模: 用锥面过渡的单台阶凸模可视为按锥面中点划分的单台阶凸模。

b. 柔度 λ 值。

$$\lambda = \mu l (F_n / J_n)^{1/2}$$

式中, F_n , J_n 表示凸模受力的横截面积和抗弯矩。

c. 凸模类型对应的 λ 值见表 1-14。

表 1-14 凸模类型对应的 λ 值

类 型	碳素工具钢、低碳合金钢 $\sigma_s=1 \times 10^3$ MPa	Cr12MoV 等高碳合金工具钢 $\sigma_s=1.9 \times 10^3$ MPa
长	$\lambda \geq 64$	$\lambda \geq 47$
中长	$29 < \lambda < 64$	$21 < \lambda < 47$
短	$\lambda \leq 29$	$\lambda \leq 21$

② 许用载荷校核。

长凸模校核:

$$P \leq \frac{\pi^2 E J_n}{K (\mu l)^2}$$

中长凸模校核:

$$P \leq \frac{\sigma_s F_n}{K} \left[1 - \frac{(\mu l)^2 \sigma_s F_n}{4 \pi^2 E J_n} \right]$$

式中, K 为安全系数, 圆形、正方形、矩形截面 $K=2.5$, 其他截面 $K=3$; $E=2.1 \times 10^5$ MPa; 短凸模不会产生纵向失稳。

1.7 冲裁模结构设计技巧

1.7.1 卸料件的选择设计

1. 卸料板

固定式卸料板适合于刚性较好的材料退料, 结构简单, 但工作视野不够大。固定式卸料板如图 1-32 和图 1-33 所示。

弹压式卸料板如图 1-34 所示, 用于冲制薄料和要求平整的工件。当采用较大的冲裁间隙时宜采用弹压式卸料板以减小材料的穹弯。

橡胶卸料板如图 1-35 所示, 它适用于材料刚性大, 而卸料力不大的简易冲模。

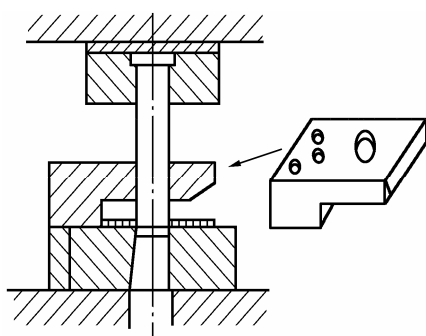


图 1-32 开放式固定式卸料板

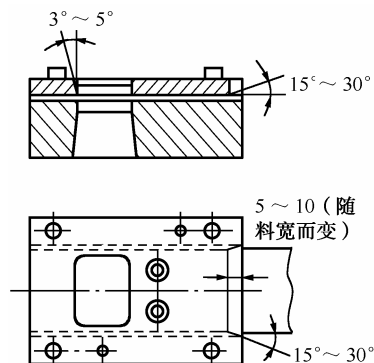
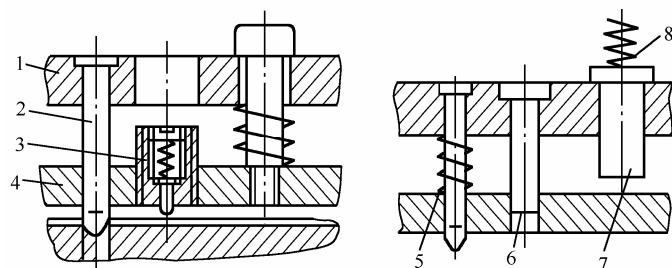


图 1-33 封闭式固定式卸料板



1—凸模座；2—导正销；3—弹性顶销；4—卸料板；

5—弹簧；6—凸模；7—顶杆；8—硬簧

图 1-34 弹压式卸料板

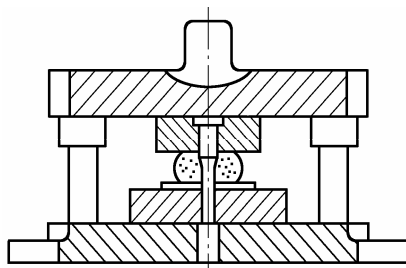


图 1-35 橡胶卸料板

2. 顶件器与打料杆

顶件器与打料杆用于将工件从凹模腔内顶出，如图 1-36 所示。

3. 弹性顶杆

弹性顶杆用于将工件从模内顶出，适合于顶出力不大且工件表面粗糙度要求高的情况，如图 1-37 所示。

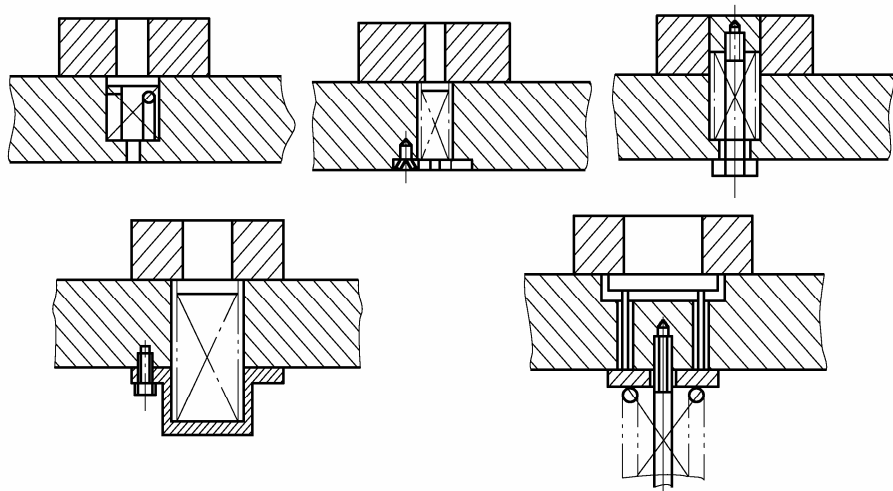


图 1-36 顶件器与打料杆

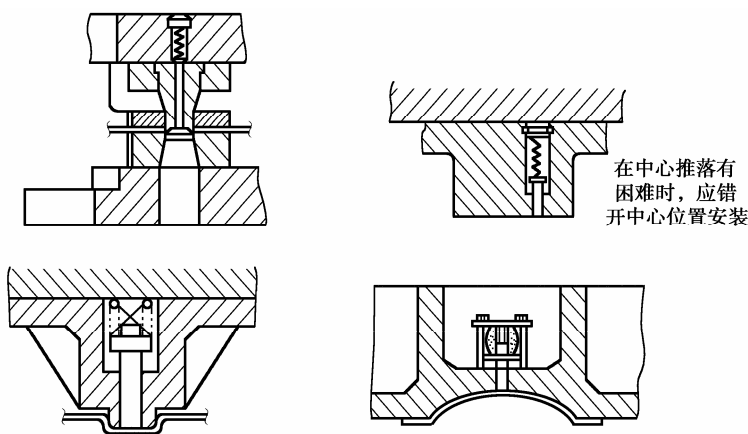


图 1-37 弹性顶杆

1.7.2 卸料件的尺寸设计

卸料板外形尺寸通常与凹模一致, 厚度约取凹模的一半 (应满足卸料板的刚性要求)。卸料板与凸模的配合一般可采用 $0.2 \sim 0.5 \text{ mm}$ 间隙, 当对凸模起导向或保护作用时宜选用 IT7~IT8 级滑配。弹性顶销的滑配精度可低些, 而顶件器与打料杆可采用更大的间隙配合。

1.7.3 卸料机构弹性元件的设计

1. 卸料板弹簧的安装技巧

弹簧的安装方式如图 1-38、图 1-39、图 1-40 所示。图 1-38 中弹簧窝安装尺寸可在表 1-15 中选取。

2. 圆柱形压缩弹簧的选用与计算技巧

冲模的卸料机构中, 采用的施力元件有汽 (油) 缸、弹簧、橡胶等。汽 (油) 缸的选用受压力机附属装置的限制 (看是否具有相应的气动或液压机构), 中、小型模具一般采用弹簧或橡胶作施力元件。

弹簧占用面积较小,压缩时其直径不胀大。弹簧丝为圆截面的弹簧产生的力较小,许用工作行程较大。而矩形截面弹簧丝的圆柱形弹簧可以产生较大的力(如采用优质铬钒钢丝制造的外形为 50 mm 的弹簧,可获 10 kN 力),许用工作行程较小。弹簧力的特性是随压缩量呈线性改变的,不像液压缸那样提供恒定或可调的力。

模具设计时对弹簧提出的基本要求有弹力大小及其变化激烈程度、弹簧反应速度、使用寿命、工作行程以及适当的安装尺寸。这些要求反映在弹簧材质及其机械性能和几何尺寸上,如弹簧丝截面形状及其尺寸(圆钢丝为直径 d 、中径 D_2 、节距 t 、有效圈数 n 、自由长度 H_0)。

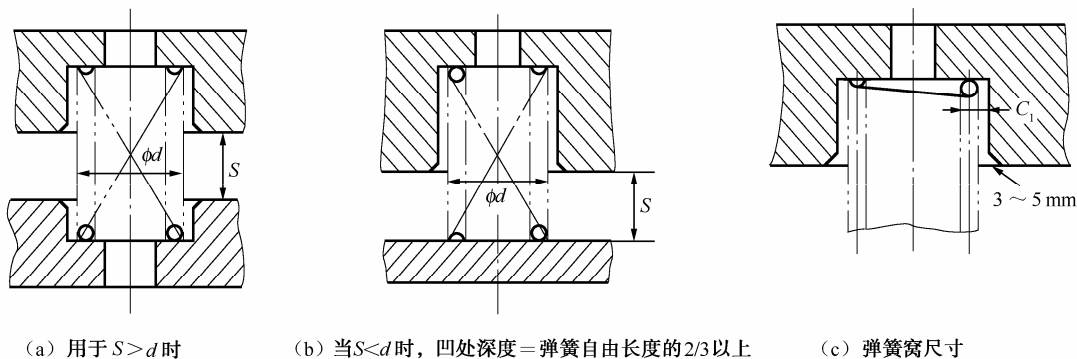


图 1-38 弹簧窝安装

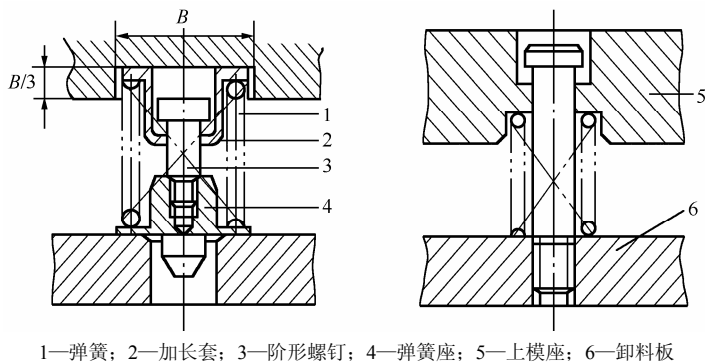


图 1-39 阶形螺钉弹簧

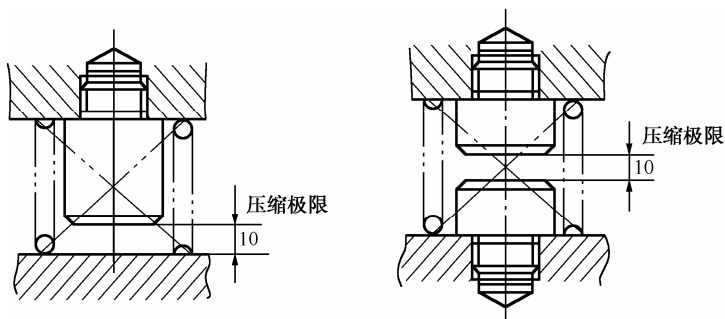


图 1-40 弹簧销

表 1-15 弹簧窝安装尺寸

弹簧外径 (mm)	C_1 (mm)
6~10	+1.0
10~15	+1.5
15~20	+2.0
20~25	+2.5
25~30	+3.0
>30	+3.5

在设计弹簧考虑弹力大小及变化时,选择的 D_2 越大或 d 越小,在单圈变形量 f 一定的条件下,所能得到的弹力越小,要想获得同等的弹力必须加大变形量,此时弹力的变化比较平缓,所能得到的最大弹力也小。要想得到较大而变化平缓的弹力,只能增加弹簧圈数而不能靠改变直径。

矩形截面弹簧丝圆柱形压缩弹簧的计算与选用:矩形截面弹簧丝参照国外有关标准研制,目前尚无统一标准,苏州弹簧厂生产的弹簧现有 4 种型号(轻、中、重、极重负荷)38 个品种,共 476 个规格。弹簧外径尺寸从 10 mm 至 50 mm,承受负荷从 0.15 kN 至 12 kN,长度尺寸从 20 mm 至 250 mm,各种规格的弹簧又根据使用寿命的要求(30 万~100 万次)允许不同的极限压缩量。

选用矩形截面弹簧时可遵循下列程序:

① 首先确定弹簧的使用寿命、弹簧力及拟用的弹簧外径,然后在相应的负荷外径曲线图(如图 1-41 所示)上查出所需要的弹簧型号。

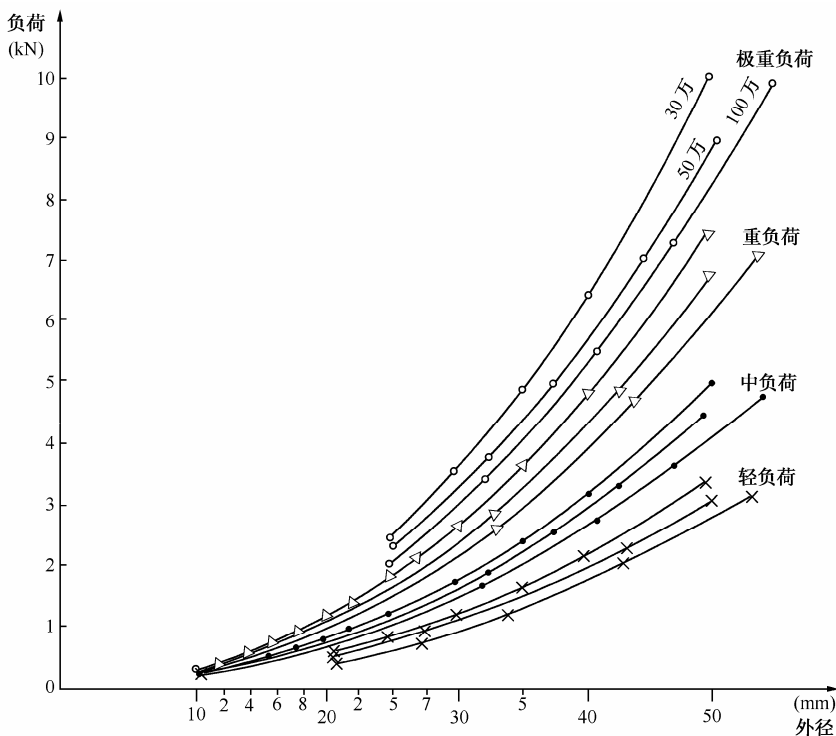


图 1-41 负荷外径曲线图

② 接着,再根据表 1-16 弹簧使用次数和压缩比的关系,查出该型号弹簧在预定使用次数条件下的许用压缩比,进而根据弹簧的最大压缩量计算出它的自由长度,并按已有的规格选用。

表 1-16 弹簧使用次数和压缩比

型 号	100 万次	50 万次	30 万次	最大压缩量 F_{\max}
TL	32.0	36.0	40.0	48.0
TM	25.6	28.8	32.0	38.0
TH	19.2	21.6	24.0	28.0
TB	16.0	18.0	20.0	24.0

3. 橡胶弹性元件的安装与选用技巧

冲模中常采用普通橡胶或聚氨酯橡胶作弹性元件。前者硬度较低,只有在较大的面积或较大的压缩比时才产生较大的弹力,因而常以板式结构出现且用于工作行程不太大的场合。其面积的大小受卸料板结构尺寸限制。当采用较大的压缩比(最大不允许超过 45%)和较厚的橡胶板(以满足弹力及工作行程的要求)时,该元件的寿命大大降低,因橡胶压缩产生的横向变形也较大,常常没有足够的空间支撑和容纳。因此,普通橡胶板一般只用于冲裁模的卸料机构。

聚氨酯橡胶硬度较高,其肖氏硬度可选用 60A~95A,以满足模具的不同需要。卸料用的弹性元件一般选用硬度为 80A 的聚氨酯橡胶制造,它可以在同样的压缩比下产生比矩形截面弹簧更大的弹力(横截面积相同时)。因此,它常以柱形或厚壁筒形结构出现。但是,该种橡胶的极限压缩比一般不超过 30%,因此,也不适合工作行程大的场合。在实际使用中应留有足够的变形空间并防止橡胶柱的纵向失稳。

4. 橡胶弹性元件尺寸计算技巧

(1) 普通橡胶弹性元件计算

橡胶弹性元件所产生的弹力主要与其截面积和压缩量有关,可参见下式:

$$P = Sq \quad (\text{N})$$

式中 P ——橡胶元件被压缩后产生的弹力;

S ——橡胶元件截面积 (mm^2);

q ——与橡胶元件压缩量有关的单位弹力 (MPa)。

为保证橡胶元件的使用寿命,它的总压缩量不应超过自由高度的 45%,一般可取 35%~45%,预压缩量取 10%~15%。为防止橡胶元件的纵向失稳,在安装时应采取类似弹簧安装时的支撑、限位措施,否则其高度不得超过该元件直径的 1.5 倍。不同压缩比的橡胶单位压力见表 1-17。

表 1-17 不同压缩比的橡胶单位压力

ε	10%	15%	20%	25%	30%	35%
$q \text{ (MPa)}$	0.26	0.50	0.70	1.06	1.52	2.10

(2) 聚氨酯橡胶弹性元件计算

其弹力计算公式为:

$$P=S_1\varepsilon E$$

式中 S_1 ——橡胶元件截面面积 (cm^2);

ε ——压缩比 (%);

E ——弹性模量 (kN/cm^2)。

弹性模量 E 值与橡胶硬度、该元件的形状系数、压缩比 ε 及橡胶元件承载面的摩擦系数有关。

形状系数计算见下式:

$$K=S_1/S_2$$

式中 K ——形状系数;

S_1 ——载荷作用面积或最小截面积;

S_2 ——该元件侧表面面积。

各种情况下的弹性模量值如图 1-42 所示。图 1-42 所示 E 是压缩比 ε 为 10%~35% 的平均值, 虚线所示为采用 20# 机油润滑承载表面 (钢与橡胶) 时的 E 值。

聚氨酯橡胶的许用压缩比 ε 比黑色橡胶低, 一般为 10%~35%, 硬度高的 (如 95A) 采用下限值 (如 15%), 硬度低的可采用上限值, 其使用寿命与实际压缩比关系很大。

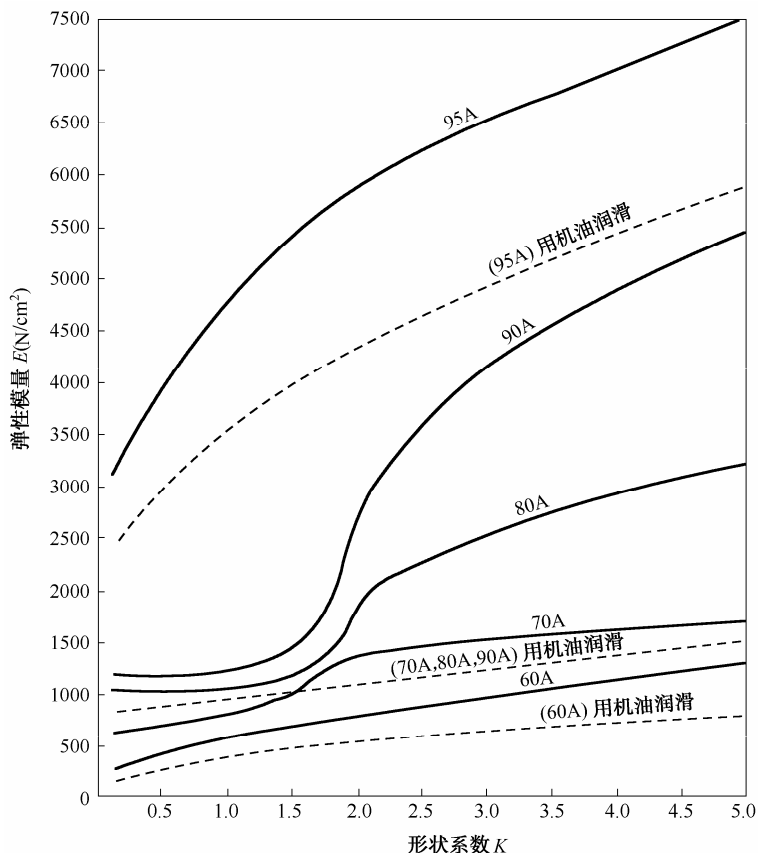


图 1-42 聚氨酯橡胶弹性模量

1.7.4 冲裁模导向装置设计

1. 导向装置的类型选择技巧

冲模的导向系统主要有导柱-导套、导块、导板三种类型。导柱-导套系统主要用于中、小型模具，导向比较精密，承受侧向力的能力差；导块、导板导向精度较差，承受侧向力的能力强，常用于大、中型成形模；在需要时可混合设置，以弥补各自的缺点。具体结构如图 1-43 所示。

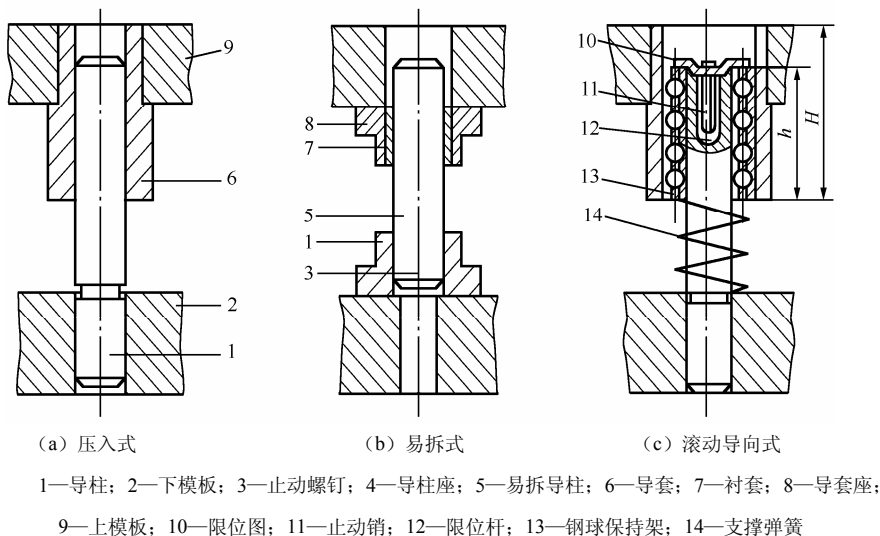


图 1-43 导柱-导套形式

图 1-43 (a) 所示结构是经常采用的小型冲模导向装置；图 (b) 所示结构中易拆导柱压入部做成锥度，以便于修磨刃口时容易拆卸并保持装配精度，采用导柱（导套）座可避免在大型模板上加工导柱（导套）压入孔，因而常用于大、中型模具；图 (c) 所示结构系滚动导向装置，用于冲裁间隙很小的精密模具或每分钟超过 200 冲次的模具（摩擦小、易于散热，可避免咬合）。

2. 导柱-导套的数量与尺寸选择技巧

(1) 导向装置通常成对安装（小型模具装一对，大、中型模具装两对），安装一对时可置于对称轴或对角线上，最好采用不同直径的导柱（导套）以避免合模时装反。

(2) 导柱（导套）的直径可参考有关冲模标准确定，确定导柱长度时要注意以下几个问题：考虑冲床行程，开模时以导柱、导套不脱离为宜；合模时导柱插入导套长度不小于 1.5 倍的直径，而且导柱上平面至少低于模板上平面 5~10 mm，以防止与冲床滑块顶死。

3. 滚动导向的钢球保持架设计技巧（如图 1-43 (c) 所示）

保持架在导柱上的位置设计如下。

注：保持架尺寸应套用有关标准。

开模状态时，保持架插入导柱的深度为：

$$h_1 = 0.5 h$$

合模状态时，保持架插入导柱的深度为：

$$h_2 = 0.5(h + L)$$

式中 L ——导柱、导套运动行程;

h ——保持架长度。

保持架内、外直径与导柱、导套直径可分别相差 0.5 mm。保持架边缘至首排钢球的距离为 l ，见表 1-18。

表 1-18 保持架设计

d	$\phi 18 \sim \phi 25$	$\phi 25 \sim \phi 35$
d_1	3	4
l	3.5	4
t	6	8

1.7.5 冲压件的定位装置设计

冲裁模在安放条料或工件时，应与型腔保持一定的相对位置，以保证搭边正确或冲孔、切边位置准确。因此，模具中应有足够的定位装置。定位装置的主要类型有定位销（杆）、定位块及定位板。无论何种定位装置都应考虑定位可靠、满足所需要的定位精度、制件或条料取送方便等诸多因素。

1. 销式定位设计技巧

(1) 固定挡料销

用圆柱销或大头销作板料的侧向或送进方向的定位装置，固定挡料销一般设置在凹模或弹性卸料板上，当其中一件安装挡料销时，另一件必须开设躲避孔，如图 1-44 所示。

(2) 弹性挡料销

如图 1-45 所示，当躲避孔在凹模上影响刃口强度时，可采用不必开躲避孔的弹性挡料销。

(3) 钩式挡料销

弹性挡料销以及图 1-44 (b)、(d) 所示固定挡料销虽然可以解决挡料销孔造成的凹模强度问题，但必须将条料抬起才能送进。当用固定卸料板时，可用钩式挡料销（如图 1-46 所示）。

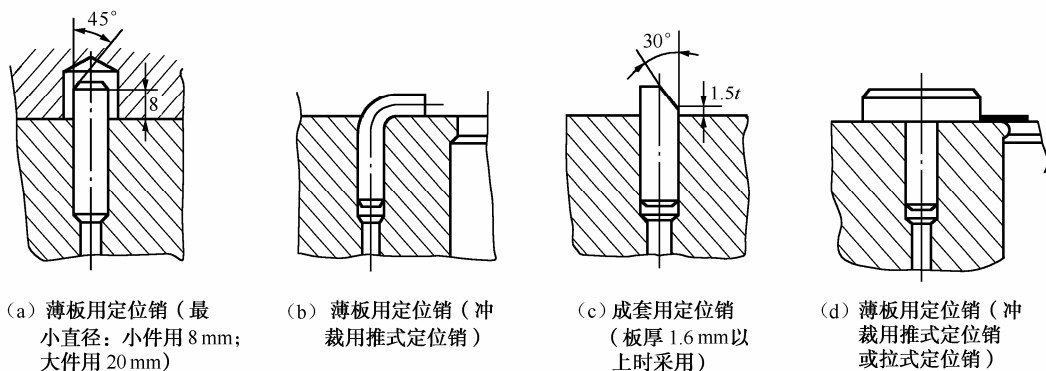


图 1-44 固定挡料销

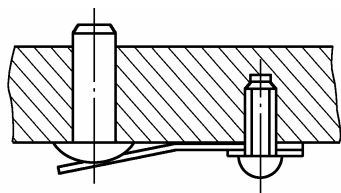
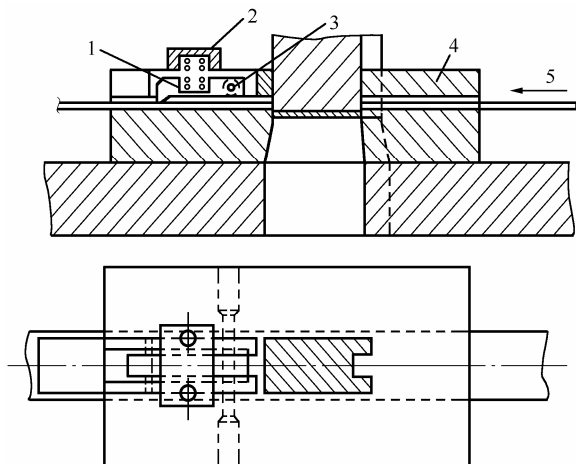


图 1-45 弹性挡料销



1—钩式挡料销；2—弹簧座；3—销；4—卸料板；5—送料方向
注：一次多余送料，然后返回（手送进专用）。

图 1-46 钩式挡料销

(4) 起始挡料销

起始挡料销用做条料初始定位，设计选用如图 1-47 和图 1-48 所示。

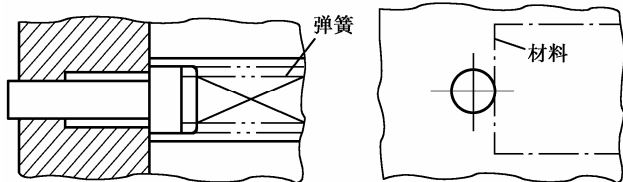


图 1-47 兼做托料杆的起始挡料销

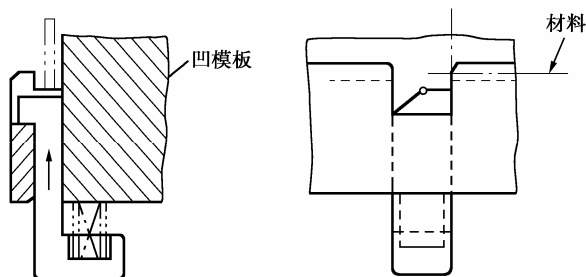


图 1-48 起始挡料销

(5) 导正销

上述定位销通常安置在下模，不利于条料的连续送进，且定位精度一般只能达到 0.2 mm 左右，在连续模中常采用安置在上模的定位销——导正销。导正销插入条料上的零件孔中，其插入部分尺寸略小于冲孔凸模，因而可做较精确定位，其结构形式如图 1-49 所示。

图 1-49 中导正销均安装在凸模上，分别用于圆孔定位和方孔定位，其定位面约等于一个料厚，径向尺寸可略小于孔径，因而可做较精确定位。导正销过细时，可在其后设置弹簧，防止折断。导正销尺寸参见国家标准。

2. 板式定位设计技巧

通常采用导料板作为条料的横向定位,如图1-50所示。条料依靠两块导料板定位,必要时可设置推料器,以消除条料与导料板的间隙误差。

该导料板的突出部分可兼做卸料用:当条料刚性足够时可将条料从凸模上卸下或用于从导正销卸料。

3. 定距刀设计技巧

采用定距刀可实现条料不抬起的半自动连续送进,其形式如图1-51所示。

定距刀用于控制条料送进步距,它通常和导料板组合使用。后者负责条料横向定位,挡块一般安装在导料板上。

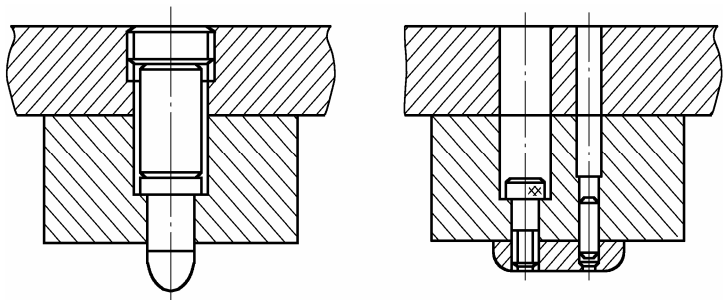
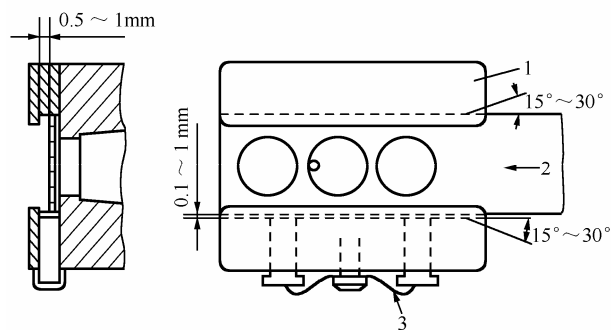
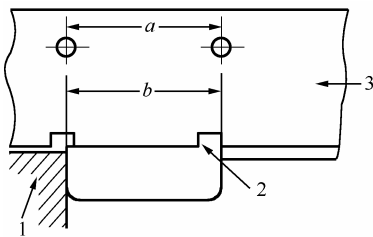


图 1-49 导正销结构



1—导料板; 2—送料方向; 3—板簧



1—挡块; 2—防止条料出现突起和废料返出的形状; 3—送料方向
 a —步距, b —定距刀长度, c —导正销可矫正量, $b=a+c$, 一般
 $c=(0.05\sim0.1)\text{ mm}$, 无导正销时 $c=0$ 。

图 1-50 板式定位设计

图 1-51 定距刀设计

4. 定位块设计技巧

定位块的使用方法类似于固定式定位销,只是它的定位面较宽,定位面不易磨损,定位也较可靠,是介于定位销和定位板之间的定位装置,常用于大、中型模具。

1.7.6 模具的出件与废料排出装置设计

模具设计应采取可靠措施保证冲压件与废料的排出,否则将引起设备故障,严重时可危及人身和模具的安全。

1. 出件装置设计技巧

出件装置按模具结构, 可分上出件与下出件。

上出件: 制件由上模落下(打料杆打出), 可通过人工或机械手接取, 也可用压缩空气吹出。大制件应避免采用上出件形式。

下出件: 可在凹模腔下部做出空刀, 模板上做出相应的排料孔, 工件或废料由冲床工作台孔漏出。当工作台无孔或孔的位置不在排料孔下方时, 可采用滑槽将工件或废料导入工作台孔或工作台外。工作台无孔时, 必须安装模脚, 将模具垫起以保证模具与工作台之间有足够的空间容纳工件(废料)取出装置。工件与废料的排出原则上应分开进行, 以免混杂、不易清理。

2. 废料的排出

原则上同工件排出, 对于成卷的条料或封闭的料边应尽量在模内切断, 并注意切屑的飞溅。

3. 防止零件或废料上升技巧

当冲裁间隙过大时, 冲件(或废料)比凹模孔小。此时由于凸模底平面与该件产生的真空吸附会造成工件(废料)上升, 落在凹模平面上, 影响生产正常进行。此时应采取下列措施: 在凸模上安装弹顶器或采用压缩空气吹。

1.8 冲模设计程序技巧

一个冲压件从图纸到生产入库的流程图如图 1-52 所示(冲压件生产流程图)。

1.8.1 冲模设计准备工作

1. 设计外部条件

如前所述, 工装设计部门在开始设计模具之前一般应具备下列条件: 产品图、工艺规程、工装设计申请书。

(1) 产品图可提供冲压件的使用与装配关系。工装设计人员可从中了解该冲压件的质量要求并可进一步从专业角度进行工艺审查: 从该件的形状、尺寸精度、原材料选用等方面看是否适合冲压工艺性; 如果做适当改动可否使模具更简单; 可否减少冲压工序; 可否提高材料利用率等。

(2) 工艺规程可提供该件冲压工序数目及顺序, 各工序的冲压部位、形状、加工方向、加工基准、条料排样, 也可提供各工序所用设备及附属装置、作业人数、进出料方式、单位时间生产率、模具结构形式、模具使用寿命等。工装设计人员在工艺规程编制过程中亦可从专业角度审查工序安排是否合理, 能否实现工艺规程所提要求, 拟采用的冲压设备的吨位、能量、行程、闭合高度等是否适用。工装设计人员对所采用的冲压设备的安装尺寸, 如模柄孔径、深度, T 形槽位置、大小, 上顶杆和下顶杆位置、尺寸, 漏料孔尺寸, 工作台尺寸, 导轨至工作台高度, 该冲床每分钟冲次等都应有所了解。

(3) 工装设计申请书也是模具设计的依据之一。模具造价高、周期长。对重新设计制造一套模具必须采取慎重的态度。一个零件所需模具是在整个工艺流程确定之后, 按工艺规程编制的工装一览表所规定项目提出的。“三化”程度高, 尽量采用通用件、标准件, 就可减少专用工装的制造, 大大加快新品投产周期, 降低生产成本。对于未定型的产品也应少投工装,

以避免因情况变化而造成报废。

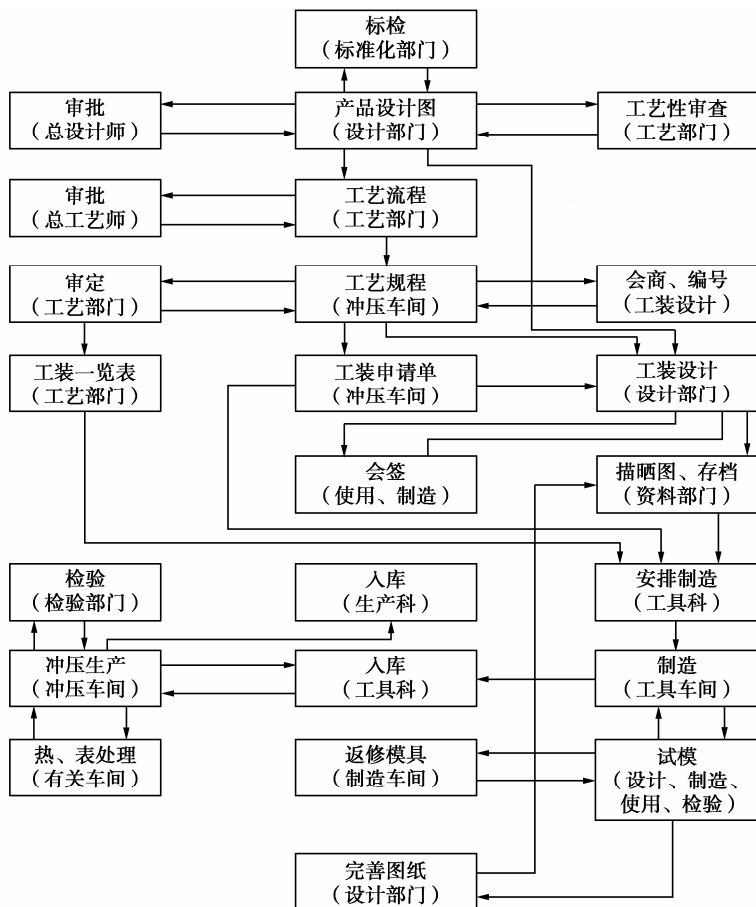


图 1-52 冲压件生产流程图

2. 模具设计人员应具备的技术素质

从以上所述可知，模具设计人员必须具备冲压工艺知识，同时也应掌握模具加工工艺，知道自己所设计的模具如何加工并了解模具制造车间所拥有的加工设备、加工方法、所能达到的精度等，必要时可提出具体的加工方法。模具设计人员还必须熟悉模具设计所涉及的各项标准。这些标准包括一般标准，如机械制图、形位公差、紧固件等国家标准以及一般的编号标准、模具出图形式等。

(1) 冷冲模国家标准（GB2851～GB2875—81）

冷冲模国家标准于 1984 年开始实施，已纳入有关的国际标准。该标准的主要内容包括：

- 各类冲模的典型组合；
- 各种标准模架；
- 各种标准模板；
- 各种通用零件；
- 各种标准圆凸模、圆凹模块；

f. 冷冲模零件技术条件（GB2870—81）。该标准规定冷冲模零件未注公差按国标规定的 IT14 级；各种模板平行度公差按国标 4 级（滚动导向）或 5 级（滑动导向）；垂直度公差按 5 级。

g. 冷冲模具典型组合技术条件 (GB2875—81)。该标准可用于一般冲模装配后的技术要求。上述两项技术条件国家标准一经明确执行, 则图纸中可不再标注。

(2) 模具出图形式

现无统一标准, 主要取决于模具标准化程度, 看具备多少标准及标准件储备。标准化程度越高, 出图形式越简单。

a. 仅具备紧固件标准时, 总装配图及零件图必须全部绘出。

b. 当执行冷冲模标准时, 总装配图需全部绘出。标准件不出图, 只列出标准件代号。有补充加工时, 其标准部分用假想线勾出轮廓线, 补充加工部分需绘出。

c. 当建立典型组合储备时, 总装配图用假想线勾出轮廓线, 将其补充加工部分及非标准件绘出, 其余同上一条。

d. 具备 CAD/CAM 条件时, 主要储备标准代号及补充加工部分、非标准件的程序加工部分, 非标准件的程序加工软件, 以实现设计加工一体化。图形可随时显示以备对照, 不出正式图纸。

(3) 总图及零件图标题栏格式

现在没有统一标准, 模具的标题栏格式可不同于一般机械装配图。它的特点是用于单件生产, 一般也没有部件图, 只有一张装配图, 将全部零件都列于这种装配图中。因此可用件号代替零件图号。对于复杂的模具装配图 (如复杂连续模), 一工位的若干零件可用分件号方式表达, 如 1-1、1-1 A 可表示位于同一位置的形状基本一致的上下两个零件; 1-1、1-2、1-3 等表示位于同一型腔的若干个拼 (镶) 块; 1-1、1-11 表示位于同一工位的上、下模的相应零件。

1.8.2 模具结构的选择

完成同一种零件所需要的冲模可有多种结构形式和不同的精度等级, 所采用的模具材料也不同。它们的区别主要取决于所冲零件的年产量。批量的划分可参见表 1-19。

表 1-19 批量划分表

生 产 量 材 料	低 产 量	中 等 产 量	高 产 量	最 高 产 量
铝、黄铜	<5 万	≈50 万	≈1000 万	>1000 万
软钢	<2 万	≈20 万	≈500 万	>500 万
不锈钢	<1 万	≈10 万	≈200 万	>200 万
硬钢	<0.5 万	≈5 万	≈100 万	>100 万

(1) 高产量和最高产量: 采用高效率、高寿命模具。从结构上看多为连续模、多工位模、多滑块弯曲模。从自动化程度看应采用自动送料、自动监控检测、自动输出冲件和废料。从冲压速度看能适应每分钟几百次以上的工作。从选用的模具材料看能适应高速冲击和高耐磨性。

(2) 中等产量: 应尽量采用典型组合结构, 扩大标准件、通用件使用范围, 尽量减少设计和制造工时。

(3) 低产量和新品试制: 采用结构简单、制造快、成本低的简易经济冲模, 如组合冲模 (包括成组模具和装配式组合冲模)、钢片模、薄板模、夹板模、聚氨酯橡胶冲模、锌基合金模、低熔点合金模、金属喷镀模等。

本书涉及的主要是适用于中等以上产量的典型模具，其他批量适用的模具请查阅有关资料。

1.8.3 模具设计时应遵循的原则

模具的损坏可分为两大类型：破裂和磨损。冲压件的报废则可由尺寸超差或表面质量不合格（主要为毛刺过大）引起。为此，设计模具时要注意下列问题。

1. 相对位置的控制

模具动作时，各部分零件必须保持正确的相对位置。保持模具间隙（冲裁间隙或弯曲、拉深间隙等）均匀是最主要的一条。模具的静态间隙取决于模具结构的合理性、模具零件的加工和装配精度等；模具的动态间隙取决于压力机的精度、刚性及模具本身的刚性及承受侧向力的情况。设计模具时应应对以上诸因素有足够的认识。

2. 冲压材料位置的控制

模具动作时，被冲材料或半成品应保持正确的位置。宏观的位移容易发现，材料的局部变形往往被忽视。例如，单面冲裁会引起条料位移；封闭冲裁时凸模周围的被冲材料也会发生局部变形。如果其附近有细小凸模，则此变形会对细小凸模产生侧向挤压，严重时会将其中折断。材料的这种额外位移在弯曲、拉深工序中更为严重，会造成工件尺寸超差及模具损坏。因此，设计模具时要充分考虑被冲材料可靠定位，如采用强力压板等。

3. 振动的控制

凸模在进入材料及材料断裂时会产生振动，为使此振动正常地传递出去而不引起小凸模折断应采取一些可靠措施：如凸模压合部分截面积应为端部的两倍，而尾部横截面积则应为端部的4倍；凸模不导向时，凸模端部长度不应超过端部直径的2.5倍（工具钢凸模）或4倍（高速钢凸模）；再如凸模座应采用淬火件以防凸模松动。

4. 废料的控制

必须避免废料上升与堵塞，否则会造成模具凹模破裂。废料飞溅则会引起人身事故或机械故障。

5. 磨损的控制

正常报废的模具多为刃口磨损以至经反复修刃而使刃口丧失，如何减小磨损就成为延长模具寿命的关键问题之一。一般来说，可以从以下几个方面入手。

（1）适当地加大冲裁间隙

根据对冲裁机理的研究，冲裁间隙的大小、被冲材料的约束条件都对刃口的磨损有很大影响。冲裁过程中，形成光亮带的挤压阶段对凸、凹模刃口侧壁的挤压会造成侧壁磨损，而刃口端面的磨损主要是由被冲材料的水平滑动造成的。随着冲裁间隙的加大，侧壁磨损减小，端面磨损增大。当冲裁间隙达到一定值时（如低碳钢，单面冲裁间隙为 $12\%t$ 时），对刃口磨损的综合影响达到最小，模具寿命可提高2~3倍。

这种最佳寿命冲裁间隙值随着被冲材料的约束条件改变而发生改变。当被冲材料受到较大的约束时（如采用强力压板），凹模端面磨损减小，凸模端面磨损增大，凸、凹模侧壁磨损都减小。因为侧壁磨损对模具寿命影响最大，增加卸料板的压力无疑是有好处的。如果冲压件存在小孔、尖角、窄槽或冲压时被冲材料的约束条件发生改变，都应适当改变间隙值。

（2）正确地选用模具钢材和热、表处理方法

选用模具材料时应考虑下列因素：抗冲击性与耐磨性，加工性及热、表处理性能，被冲

材料的特性与冲压工序的特性等。

一副模具可根据不同要求选用多种钢材，一般冲孔件受凹模磨损的影响大，落料件受凸模的磨损影响大，而细、窄件受冲击影响大。一般应主要考虑钢材的耐磨性，细、窄件主要考虑韧性。材料的硬度越高，耐磨性越好，但硬度超过一定值时韧性会有所下降。选用何种钢材（各种合金工具钢、高速钢、硬质合金钢），进行什么样的热、表处理都应进行综合考虑后再确定。

被冲材料不同，模具材料也应有区别。冲裁贝氏体钢材及带有绝缘薄膜的硅钢板等材料时，最好采用抗刮伤磨损性能好的 Cr12MoV 或采用超硬合金材料。被冲材料表面的无机绝缘薄膜或热处理产生的氧化膜会使模具剧烈磨损。冲制不锈钢时，被冲材料会和模具材料发生黏结，此时采用 W6Mo6Cr4V2 这样的高速钢较好。

（3）正确地选用润滑剂

冲裁时，不锈钢和铝材极易黏着在模具上，此时采用润滑剂可使磨损大大降低。润滑剂应选耐高压、耐高速，黏度高的。

（4）注意冲裁速度对磨损的影响

在曲轴冲床上改变冲裁速度时，速度加快，其磨损略微减小。当采用高速冲床时磨损会明显减小。这是因为提高冲裁速度后，被冲材料破裂得早。

（5）注意凸模压入量对磨损的影响

凸模进入凹模腔时深度越浅，模具刃口侧面磨损越小，特别是对凸模侧壁的磨损，效果更加明显。

（6）注意刃口钝角对磨损速度的影响

模具使用时，初期刃口磨损较快，随后进入一个稳定期，当刃口尖端圆角钝到一定程度时，凸模压入被冲材料较深时材料才破裂，这将使刃口磨损加剧。因此，为保持模具总的寿命，应在将进入过度磨损时就及时开刃。

6. 崩刃的控制

崩刃是影响模具寿命的另一主要原因，为此，应从下述几个方面加以预防。

① 模具材料材质应均匀，防止内部缺陷，热处理不可过度，应保持足够的韧性（如采用锻件制造凸模，碳化物偏析不低于二级，采用 HRC64 淬火后回火至 HRC62）；

② 冲制不锈钢、铝等黏性大的材料时应采用润滑剂；

③ 防止冲裁间隙过小或偏向一边，以免冲裁力过大、卸料力过大而产生崩刃；

④ 降低刃口侧壁的表面粗糙度；

⑤ 防止出现异常冲裁，如同一地方冲裁两次或一次冲裁两件等；

⑥ 提高冲床和模具的刚性。

7. 负荷的控制

设计模具时要使模具的压力中心与冲床滑块的轴线保持一致，否则将引起偏载而造成上、下模的相对位置偏移。选用压力设备时应使模具总的冲压力为压力机额定负荷的 70%~80%，设备负荷过大，振动将加大。

1.8.4 冲裁间隙的计算与选择

冲裁间隙是模具设计的重要基础数据，其值大小直接影响冲件质量、模具寿命和冲裁力。它与冲压材料的种类、状态、冲件的相对厚度和形状有关。冲裁间隙可按下列经验公式计算，

也可参考其他经验数据选取。

$$c=K\tau t\times 10^{-4}(\text{mm})$$

式中 c ——单面冲裁间隙；

K ——系数，当冲件的尺寸精度、平整度和断面质量要求较高（如冲制装配、定位面）时， $K=1$ ，对于一般冲裁件， $K=3$ 时可获得较小的冲裁毛刺、冲裁力和最高的模具寿命；

τ ——材料抗剪强度（MPa）；

t ——材料厚度（mm）。

对于冲件相对厚度较大者以及锐角冲孔件，应加大冲裁间隙；锐角落料件应减小冲裁间隙以避免掉角。当 $K>1$ 时，通常冲件外、内形尺寸分别小于和大于模具的基准型面尺寸——对于一般精度的冲件来说可忽略不计，但应注意轻薄零件的反跳。

1.8.5 冲模设计步骤安排

（1）设计人员接到模具设计申请书后应先认真熟悉产品图、工序图、排样图并进行工艺性审查，了解该冲压件的使用情况。然后再根据工艺规程的要求考虑模具结构，其后进行冲裁力计算，核对冲床的负荷能力、安装尺寸等看其是否可以满足设计要求。

（2）根据排样图确定压力中心，绘制下模平面图（上模平面图按需要绘制）、主要剖面图，标明模具的外形尺寸及与冲压作业有关的主要安装、使用尺寸，如送料平面高度、导料板间距、模具安装槽尺寸等。凡是模具组装后的相对尺寸，一般也应在总装配图中标明。

（3）复杂的模具应先绘制结构草图交讨论或审批后再正式绘制。

（4）绘制零件图。零件图应表达清楚该零件的结构、尺寸、精度、表面粗糙度、所选材料、进行何种热处理和表面处理、有何其他技术要求、零件的数量等。

（5）图纸绘制完毕后，应送交校对、审核、会签，批准后转描晒图。设计人员对白图负责，描图员对底图负责。

（6）图纸下达生产后，设计人员应经常深入生产现场，及时发现图纸中的不足之处，了解生产过程中出现的制造问题，做到心中有数，及时处理，并经过试模后进一步完善图纸。至此才算完成该图纸的设计过程。

2.1 弯曲件的工艺性审核技巧

2.1.1 最小弯曲半径校核

弯曲件的最小弯曲半径与材料的力学性能、硬化程度、纤维方向、表面质量等因素有关，最小弯曲半径值见表 2-1。

表 2-1 最小弯曲半径值

材 料	退 火 状 态		冷作硬化状态	
	弯曲线方向与纤维方向相对位置			
	垂 直	平 行	垂 直	平 行
0.8、10、Q215	0.1 <i>t</i>	0.4 <i>t</i>	0.4 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>
15、20、Q235	0.1 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>	1.0 <i>t</i>
25、30、Q255	0.2 <i>t</i>	0.6 <i>t</i>	0.6 <i>t</i>	1.2 <i>t</i>
35、40、Q275	0.3 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	1.5 <i>t</i>
45、50	0.5 <i>t</i>	1.0 <i>t</i>	1.0 <i>t</i>	1.7 <i>t</i>
55、60	0.7 <i>t</i>	1.3 <i>t</i>	1.3 <i>t</i>	2.0 <i>t</i>
65Mn、T7	1.0 <i>t</i>	2.0 <i>t</i>	2.0 <i>t</i>	3.0 <i>t</i>
铝	0.1 <i>t</i>	0.35 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>	1.0 <i>t</i>
紫铜	0.1 <i>t</i>	0.35 <i>t</i>	1.0 <i>t</i>	2.0 <i>t</i>
软黄铜	0.1 <i>t</i>	0.35 <i>t</i>	0.35 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>
半硬黄铜	0.1 <i>t</i>	0.35 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>	1.2 <i>t</i>
磷青铜	—	—	1.0 <i>t</i>	3.0 <i>t</i>

- 注：1. 表中 *t* 为板料厚度。
2. 弯曲线与纤维方向介于 20°～60° 时，可取表中垂直与平行的平均值。
3. 冲裁后未经退火的坯料，应视为硬化状态。
4. 弯曲件的弯曲角不同时，按下列修正系数乘表中的数值：
- | | | | |
|------|-----|---------|---------|
| 弯曲角 | 90° | 60°～90° | 45°～60° |
| 修正系数 | 1.0 | 1.3～1.1 | 1.5～1.3 |
5. 弯曲时应使毛刺一边处于弯角的内侧。

2.1.2 弯曲件直边高度校核

弯曲件直边高度不能太小，必须满足 $H>2t$ ，若 $H<2t$ ，则需预先压槽后再弯曲（如图 2-1（a）所示）或增加直边高度，弯曲后再将多余的部分切掉。

当弯曲件侧边有斜角时（如图 2-1（b）所示），侧边的最小高度为：

$$H=（2\sim4）t>3\text{ mm}$$

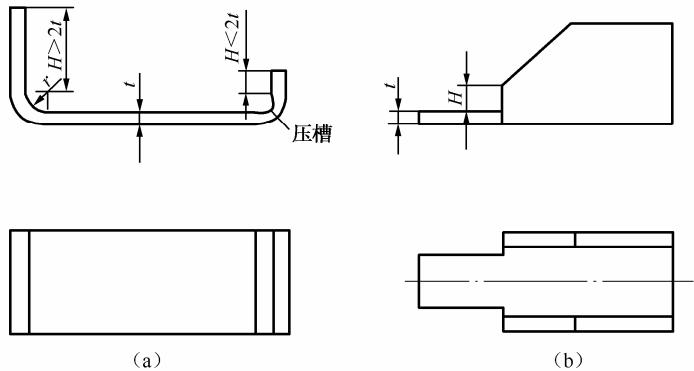


图 2-1 弯曲件直边高度

2.1.3 弯曲件孔边距离校核

当需要冲孔之后再弯曲时,孔的位置应处于弯曲变形区之外,孔壁到弯边的最小距离见表 2-2。如果不能满足上述要求,则可以采取措施防止孔产生变形,如图 2-2 所示。

表 2-2 弯曲件孔壁到弯边的最小距离 (mm)

t	s	L	s
≤2	≥t+r	≤25	≥2t+r
>2	≥1.5t+r	25~50	≥2.5 t+r
		>50	≥3t+r

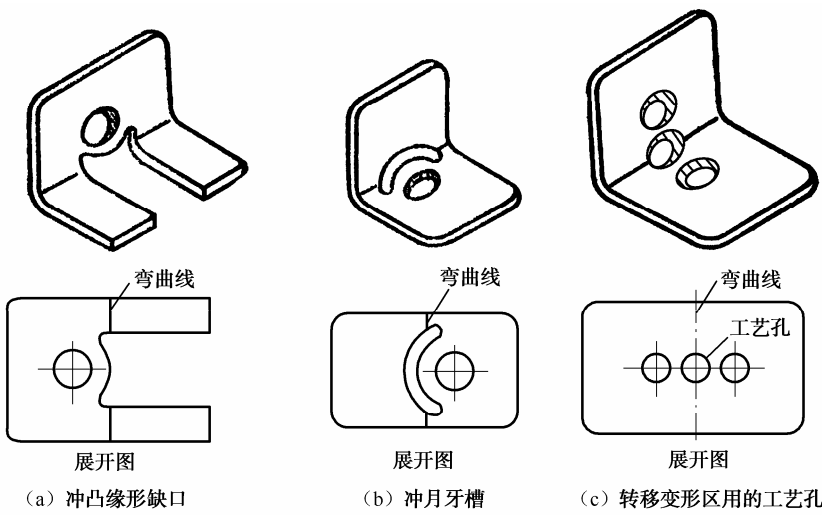


图 2-2 防止孔变形的措施

2.1.4 增添工艺孔、槽

在工件转角处弯曲，易产生撕裂现象，此时应增添工艺孔、槽，如图 2-3 所示。

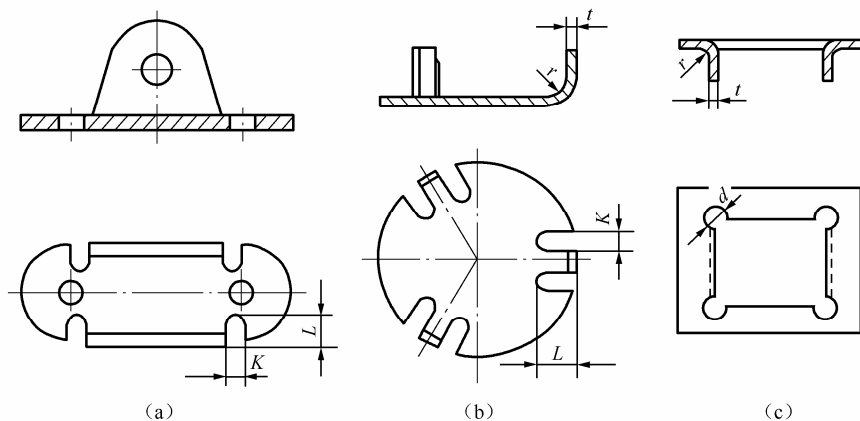


图 2-3 防止尖角处撕裂的工艺孔、槽 ($K \geq t$, $L \geq t + r + \frac{K}{2}$, $d \geq t$)

2.1.5 切舌弯曲

各种切舌弯曲件，一般可在模具内一次成形，为了使工件易于从凹模内顶出，弯曲部分一般应做成梯形或预先冲出周边槽孔，如图 2-4 所示。

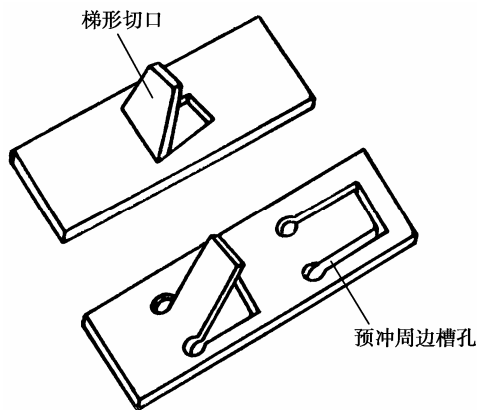


图 2-4 切舌弯曲

2.1.6 加添连接带

在弯曲区附近有缺口的弯曲件，弯曲时会出现叉口现象。为保证弯曲件质量，应在缺口处加添连接带，弯曲后再将其切除，如图 2-5 所示。

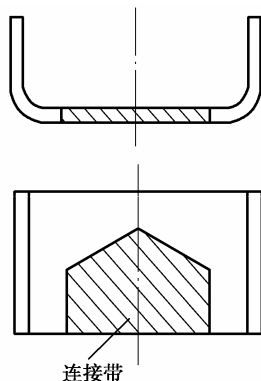


图 2-5 加添连接带

2.1.7 定位工艺孔

对于形状较复杂或需多次弯曲的工件，为了使毛坯在模具中准确定位，应预先冲出定位工艺孔，如图 2-6 所示。

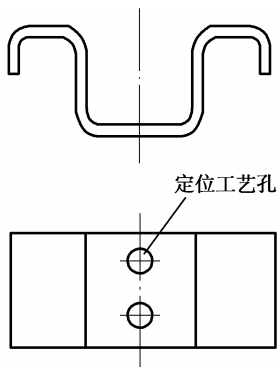


图 2-6 定位工艺孔

2.1.8 对称弯曲

要尽量避免非对称弯曲。对于单边弯曲，可采用成对弯曲，然后再切开（如图 2-7（a）所示）。对于形状对称的制件，圆角半径应对称设置（如图 2-7（b）所示）。

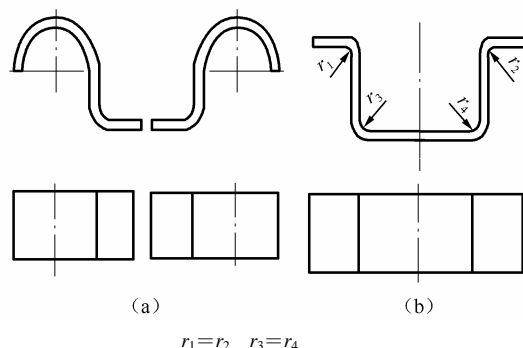


图 2-7 对称弯曲

2.2 弯曲件的回弹计算与控制技巧

金属材料在塑性弯曲时总是伴随着弹性变形,因此当弯矩去掉之后,弯曲件的弯曲角与弯曲半径变得与模具尺寸不一致,这种现象称为回弹,如图 2-8 所示。

回弹值通常以回弹角 $\Delta\alpha$ 表示:

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0$$

式中 α ——回弹后制件的实际角度;

α_0 ——模具的角度。

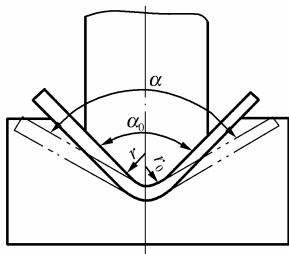


图 2-8 弯曲时回弹变形

2.2.1 影响回弹的因素

- ① 材料的力学性能: 回弹角的大小与材料的屈服点成正比, 与弹性模量 E 成反比。
- ② 相对弯曲半径 r/t : r/t 愈大, 则表示弯曲时的程度愈小, 回弹角 $\Delta\alpha$ 就愈大。
- ③ 弯曲中心角 α : α 愈大, 则 $\Delta\alpha$ 愈大。
- ④ 弯曲方式: 校正弯曲的回弹角小于自由弯曲的回弹角。
- ⑤ 制件形状: U 形件的回弹小于 V 形件; 形状复杂的弯曲件, 一次弯曲成形, 弯角数量越多, 回弹量就减小。

2.2.2 回弹角的大小

由于影响回弹角的因素较多, 因此要在理论上计算回弹角是有困难的, 在模具设计时通常按实验总结的数据来修正, 或经试冲后再修正。

2.2.3 减小回弹

1. 弯曲件设计方面

- ① 改进弯曲件结构, 例如, 在弯曲区压制加强肋, 如图 2-9 所示。
- ② 采用弹性模量大、屈服点低、力学性能稳定的材料。

2. 弯曲工艺方面

- ① 用校正弯曲代替自由弯曲。
- ② 压弯前先将坯料进行退火处理。
- ③ 采用拉弯工艺。

3. 模具结构方面

- ① 补偿回弹。根据弯曲件的回弹方向和回弹量的大小, 控制模具工作部分的几何形状和尺寸, 使弯曲件弯曲后的回弹得到补偿。弯曲 U 形件时, 可将凸模两侧做出斜度 (该斜度等于回弹角的斜度), 如图 2-10 (a) 所示, 或将凹模底部做成弧形, 如图 2-10 (b) 所示, 利用底部的回弹作用, 补偿两直边向外的回弹。

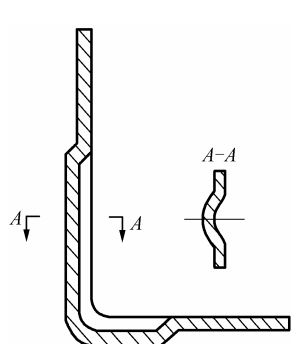


图 2-9 在弯曲区压制加强肋

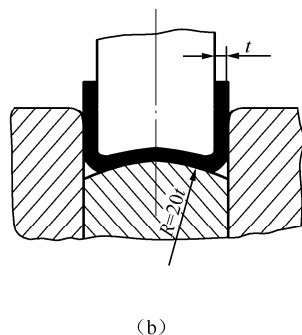
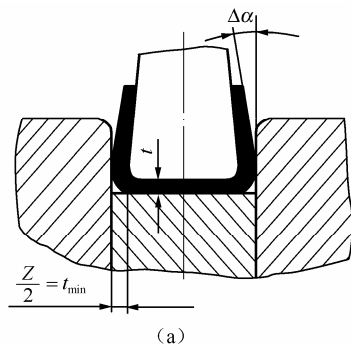


图 2-10 补偿回弹的方法

② 弯曲件材料厚度大于 0.8 mm，且材料塑性较好时，可将凸模做成如图 2-11 所示形状，使变形区范围缩小，变形程度加大，从而减小回弹。

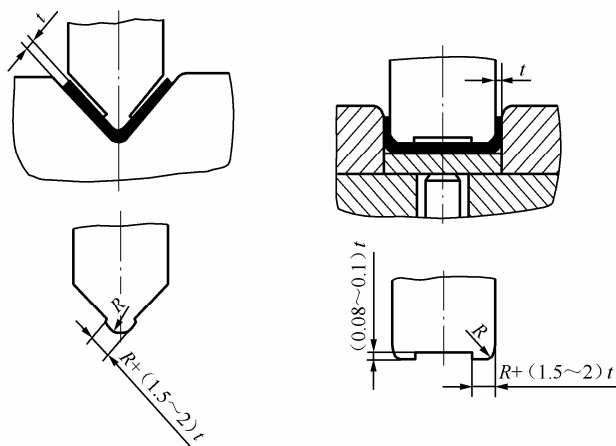


图 2-11 局部加大变形程度减小回弹

③ 对于软材料弯曲 (Q215、Q235、10#、20#、H62M)，可以采用增加压料力 (如图 2-12 (a) 所示) 或减小凸、凹模之间间隙 (如图 2-12 (b) 所示) 的方法减小回弹。

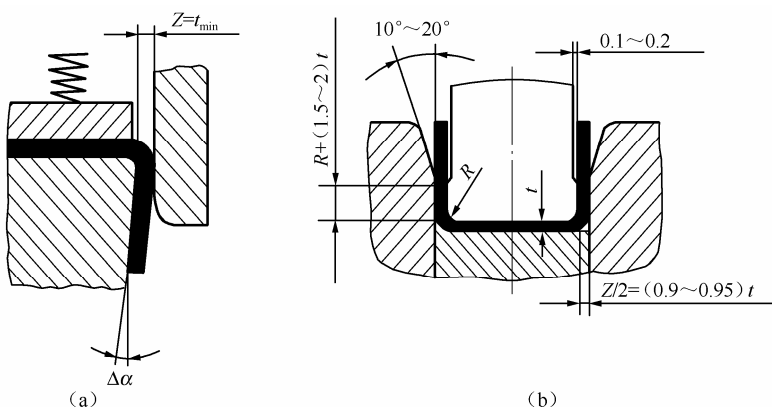


图 2-12 增加压料力或减小凸、凹模之间的间隙减小回弹

④ 采用柔性凹模（或凸模）可以显著减小回弹，如图 2-13 所示，利用聚氨酯橡胶弯曲模。

⑤ 弯曲时在弯曲件的端部加压，不但能获得精确的弯边高度，而且能减小回弹，如图 2-14 所示。

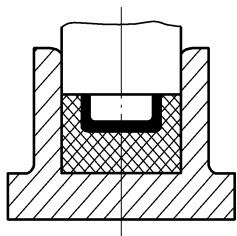


图 2-13 聚氨酯橡胶弯曲模

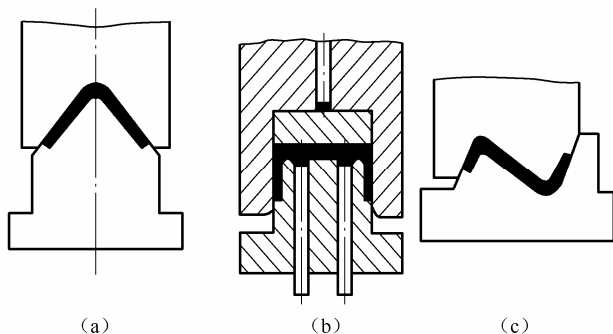


图 2-14 在弯曲件的端部加压

2.3 弯曲件的展开尺寸计算技巧

2.3.1 弯曲件的排样展开尺寸计算

圆角半径 $r > 0.5t$ 的弯曲件。这类弯曲件按中性层展开长度等于坯料长度的原则求得坯料尺寸，计算步骤如下（如图 2-15 所示）。

- (1) 算出直线段 a 、 b 、 c …的长度。
- (2) 根据 r/t ，由表 2-3 查出中性层位移系数 x 值。
- (3) 计算中性层弯曲半径，如图 2-16 所示。
- (4) 根据 ρ_1 、 ρ_2 …及 α_1 、 α_2 …计算弧的展开长度，计算公式如下：

$$l = (\pi \rho \alpha) / 180^\circ$$

当 $\alpha = 90^\circ$ 时，计算弯曲部分中性层的弧长。

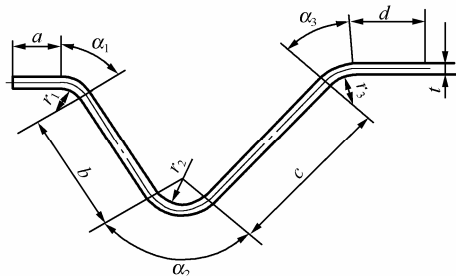


图 2-15 坯料长度

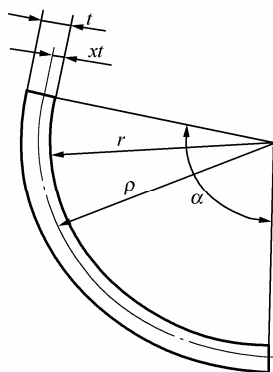


图 2-16 中性层弯曲半径

表 2-3 中性层位移系数 x 值

r/t	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2
x	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32	0.33
r/t	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7	≥ 8
x	0.34	0.36	0.38	0.39	0.4	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50

(5) 计算坯料总长。当弯曲件的角度为 90° 时，为了简化计算，常用如下公式进行坯料尺寸的计算（如图 2-17 所示）：

$$L=A+B+\alpha$$

式中 L ——坯料长度；
 α ——修正值，见表 2-4。

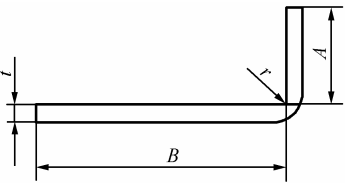


图 2-17 角度为 90° 的弯曲件

表 2-4 压弯 90° 角时毛坯尺寸计算的修正值 α (mm)

$t \backslash r$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
0.3	0.125	0.10	0.07	0.035	0.00	-0.125	-0.21	-0.30	-0.42	-0.64	-0.85	-1.05	-1.50	-1.90	-2.34	-3.20	-4.07
0.4	0.18	0.15	0.12	0.09	0.05	-0.06	-0.14	-0.22	-0.35	-0.56	-0.78	-1.00	-1.40	-1.84	-2.25	-3.10	-4.00
0.5	0.22	0.20	0.18	0.15	0.12	0.00	-0.07	-0.16	-0.28	-0.48	-0.70	-0.90	-1.34	-1.75	-2.20	-3.00	-3.90
0.8	0.36	0.35	0.33	0.31	0.28	0.18	0.11	0.04	-0.07	-0.30	-0.50	-0.70	-1.12	-1.57	-1.96	-2.80	-3.66
1	0.43	0.43	0.43	0.41	0.38	0.30	0.23	0.15	0.05	-0.14	-0.35	-0.57	-0.96	-1.38	-1.82	-2.66	-3.50
1.2	0.52	0.53	0.53	0.51	0.48	0.40	0.35	0.25	0.15	-0.01	-0.23	-0.45	-0.82	-1.25	-1.67	-2.52	-3.38
1.5	—	0.65	0.65	0.66	0.63	0.56	0.50	0.45	0.35	0.15	-0.02	-0.21	-0.62	-1.02	-1.47	-2.30	-3.12
2.0	—	0.85	0.86	0.87	0.88	0.81	0.76	0.70	0.63	0.46	0.28	0.09	-0.27	-0.68	-1.10	-1.93	-2.78
2.5	—	—	1.07	1.08	1.08	1.07	1.01	0.96	0.88	0.75	0.57	0.39	0.05	-0.35	-0.75	-1.60	-2.45
3	—	—	1.28	1.30	1.31	1.32	1.26	1.20	1.13	1.00	0.87	0.69	0.35	-0.02	-0.40	-1.25	-2.20
4	—	—	—	1.72	1.73	1.74	1.77	1.71	1.64	1.51	1.39	1.25	0.92	0.57	0.22	-0.54	-1.36
5	—	—	—	2.14	2.15	2.16	2.17	2.22	2.18	2.07	1.91	1.77	1.55	1.16	0.80	0.10	-0.70

注：粗线上方 α 为负值。

2.3.2 无圆角半径或小圆角半径弯曲件展开尺寸计算

这类弯曲件的坯料尺寸是根据弯曲前后材料体积不变原则，并考虑在弯曲处材料有变薄现象进行计算的，见表 2-5。

表 2-5 $r<0.5t$ 的弯曲件坯料尺寸计算公式

序 号	弯 曲 特 征	简 图	公 式
1	弯曲一个角		$L=l_1+l_2+0.4t$

续表

序 号	弯 曲 特 征	简 图	公 式
2	弯曲一个角		$L=l_1+l_2-0.43t$
3	一次同时弯曲两个角		$L=l_1+l_2+l_3+0.6t$
4	一次同时弯曲三个角		$L=l_1+l_2+l_3+l_4+0.75t$
5	一次同时弯曲两个角, 第二次弯曲另一个角		$L=l_1+l_2+l_3+l_4+t$
6	一次同时弯曲四个角		$L=l_1+2l_2+2l_3+t$
7	分两次弯曲四个角		$L=l_1+2l_2+2l_3+1.2t$

2.3.3 铰链式弯曲件展开尺寸计算

如图 2-18 所示, 对于 $r=(0.6\sim 3.5)t$ 的铰链件, 在卷边过程中板料增厚, 中性层外移, 坯料长度可按式近似计算:

$$L=l+5.7r+4.7x_1t$$

式中, x_1 为卷边时中性层位移系数, 其值见表 2-6。

表 2-6 卷边时中性层位移系数 x_1 值

r/t	0.5~0.6	0.6~0.8	0.8~1	1~1.2	1.2~1.5	1.5~1.8	1.8~2	2~2.2	2.2
x_1	0.76	0.73	0.7	0.67	0.64	0.61	0.58	0.54	0.5

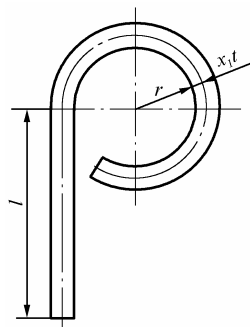


图 2-18 铰链式弯曲件

2.3.4 棒料弯曲件展开尺寸计算

如图 2-19 所示, 棒料弯曲时, 坯料长度可按下式近似计算:

$$L = l_1 + l_2 + \pi(r + x_2 d)$$

式中, x_2 为圆棒料弯曲时中性层位移系数, 其值见表 2-7。

表 2-7 圆棒料弯曲时中性层位移系数 x_2 值

r/d	≥ 1.5	1
x_2	0.5	0.51
r/d	0.5	0.25
x_2	0.53	0.55

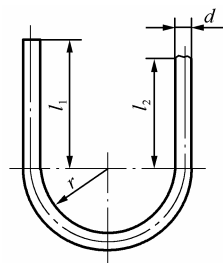


图 2-19 棒料弯曲件

2.4 弯曲力计算技巧

弯曲力的大小通常采用经验公式进行计算。

2.4.1 自由弯曲力

对于 V 形件 (如图 2-20 (a) 所示):

$$F_{\text{自}} = \frac{0.6\kappa B t^2 \sigma_b}{r + t}$$

对于 U 形件 (如图 2-20 (b) 所示):

$$F_{\text{自}} = \frac{0.7\kappa B t^2 \sigma_b}{r + t}$$

式中 $F_{\text{自}}$ ——自由弯曲力;

B ——弯曲件的宽度;

t ——弯曲件的厚度;

r ——弯曲件的内弯曲半径;

σ_b ——材料的抗拉强度;

κ ——安全系数, 一般取 $\kappa=1.3$ 。

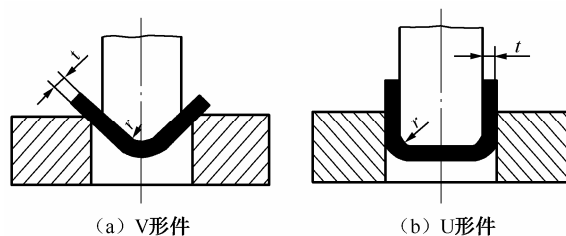


图 2-20 自由弯曲示意图

2.4.2 校正弯曲力

校正弯曲示意图如图 2-21 所示。

$$F_{\text{校}} = Ap$$

式中 $F_{\text{校}}$ ——校正弯曲力；

A ——校正部分投影面积；

p ——单位校正力，其值见表 2-8。

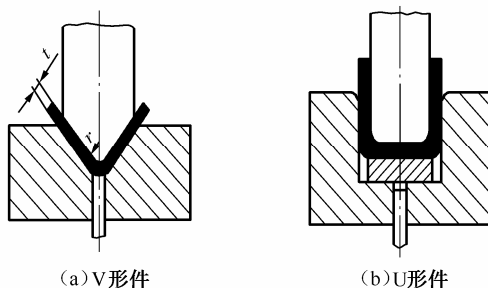


图 2-21 校正弯曲示意图

表 2-8 单位校正力 p 值

(MPa)

材 料	材料厚度 (mm)			
	<1	1~3	3~6	6~10
铝	10~20	20~30	30~40	40~50
黄 铜	20~30	30~40	40~60	60~80
10#、15#、20#钢	30~40	40~60	60~80	80~100
25#、30#钢	40~50	50~70	70~100	100~120

2.4.3 顶件力或压料力 F

对于有顶件装置的弯曲模，其顶件力或压料力可取自由弯曲力的 30%~80%，即：

$$F_1 = (0.3 \sim 0.8) F_{\text{自}}$$

2.4.4 弯曲时压力机公称压力的确定

对于有压料装置的自由弯曲：

$$F_{\text{压机}} \geq F_{\text{自}} + F_1$$

对于校正弯曲，校正力的数值比压料力大得多，故 F_1 可忽略不计，压力机公称压力可按校正力选择，即：

$$F_{\text{压机}} \geq F_{\text{校}}$$

2.5 弯曲模间隙给定技巧

V 形件弯曲时，凸、凹模的间隙是靠压力机的闭合高度来控制的，在设计和制造模具时不需要考虑间隙。

U 形件弯曲时 (如图 2-22 所示), 凸、凹模间隙的大小对弯曲件质量有直接影响, 过大的间隙会引起较大的回弹, 过小的间隙会使制件厚度变薄, 增加模具的磨损。因此, 必须确定出合理的间隙值。

凸、凹模的合理间隙值可按式计算:

$$Z/2 = t + \Delta + ct$$

式中 $\frac{Z}{2}$ ——弯曲凸、凹模单边间隙;

t ——坯料厚度;

Δ ——坯料厚度正偏差;

c ——根据弯曲件高度 H 和弯曲线长度 L 决定的系数。

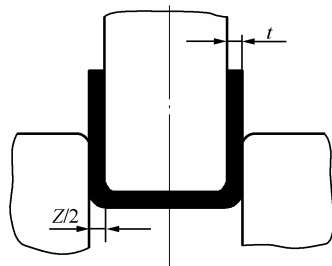


图 2-22 U 形件弯曲间隙

2.6 弯曲模工作部分尺寸计算技巧

2.6.1 凸、凹模的圆角半径及凹模的深度计算

弯曲模的结构尺寸如图 2-23 所示。

1. 凸模圆角半径 r_p

若弯曲件的内侧弯曲半径 $r \geq r_{\min}$ (材料所允许的最小弯曲半径), 则应取 $r_p = r$; 若 $r < r_{\min}$, 则应取 $r_p \geq r_{\min}$, 然后增加整形工序, 使整形模 $r_p = r$ 。

2. 凹模圆角半径 r_d 及凹模深度

凹模圆角半径要小于 3 mm, 以免弯曲时材料表面产生划痕, 凹模两边的圆角半径应一致, 否则弯曲时毛坯会发生偏移。弯曲凹模圆角半径 r_d 见表 2-9。

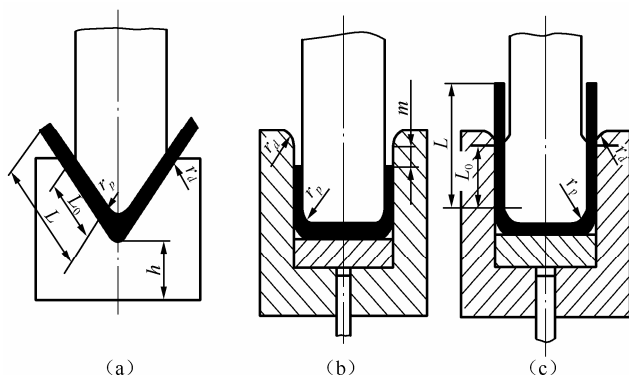


图 2-23 弯曲模的结构尺寸

表 2-9 弯曲凹模圆角半径 r_d

材料厚度 t	≤ 1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~10
r_d	3	5	7	9	10	11	12	13	15

弯曲 V 形件时 (如图 2-23 (a) 所示), 凹模深度及底部最小厚度值见表 2-10。

弯曲 U 形件时，若弯边高度不大或要求两边平直，则凹模深度应大于零件高度，如图 2-23 (b) 所示。图中 m 值见表 2-11。

弯曲 U 形件时，如果弯曲件边长较大，而对直度要求不太高时，可采用如图 2-23 (c) 所示的弯曲模结构形式，凹模深度 L_0 的值见表 2-12。

表 2-10 弯曲 V 形件时凹模深度及底部最小厚度值 (mm)

弯曲件边长 L	材料厚度 t					
	≤ 2		2~4		4	
	h	L_0	h	L_0	h	L_0
10~25	20	10~15	22	15	—	—
25~50	22	15~20	27	25	32	30
50~75	27	20~25	32	30	37	35
75~100	32	25~30	37	35	42	40
100~150	37	30~35	42	40	47	50

表 2-11 弯曲 U 形件时凹模的 m 值 (mm)

材料厚度 t	≤ 1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~10
m	3	4	5	6	8	10	15	20	25

表 2-12 弯曲 U 形件时凹模深度 L_0 (mm)

弯曲件边长 L	材料厚度 t				
	≤ 1	1~2	2~4	4~6	6~10
≤ 50	15	20	25	30	35
50~75	20	25	30	35	40
75~100	25	30	35	40	40
100~150	30	35	40	50	50
150~200	40	45	55	65	65

2.6.2 凸、凹模工作部分的尺寸与公差计算

1. 标注外形尺寸的弯曲件（如图 2-24 所示）

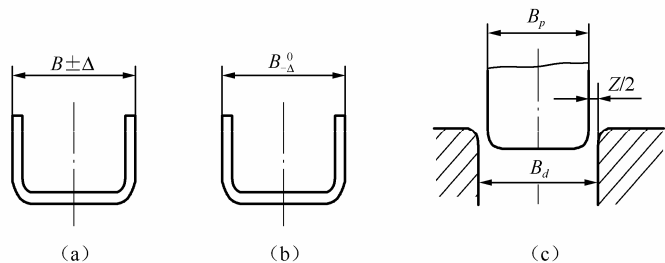


图 2-24 标注外形尺寸的弯曲件

弯曲件为双向偏差时 (如图 2-24 (a) 所示), 凹模尺寸为:

$$B_d = (B - 0.5\Delta) \begin{smallmatrix} +\delta_d \\ 0 \end{smallmatrix}$$

弯曲件为单向偏差时 (如图 2-24 (b) 所示), 凹模尺寸为:

$$B_d = (B - 0.75\Delta) \begin{smallmatrix} +\delta_d \\ 0 \end{smallmatrix}$$

凸模尺寸 (如图 2-24 (c) 所示) 为:

$$B_p = (B_d - Z) \begin{smallmatrix} 0 \\ -\delta_p \end{smallmatrix}$$

式中 B_d ——凹模宽度;

B_p ——凸模宽度;

B ——弯曲件宽度的基本尺寸;

Δ ——弯曲件的尺寸偏差;

Z ——凸、凹模的双边间隙;

δ_p 、 δ_d ——凸、凹模的制造公差、采用 IT7~IT9 级精度。

2. 标注内形尺寸的弯曲件 (如图 2-25 所示)

弯曲件为双向偏差时 (如图 2-25 (a) 所示), 凸模尺寸为:

$$B_p = (B + 0.5\Delta) \begin{smallmatrix} 0 \\ -\delta_p \end{smallmatrix}$$

弯曲件为单向偏差时 (如图 2-25 (b) 所示), 凸模尺寸为:

$$B_p = (B + 0.75\Delta) \begin{smallmatrix} 0 \\ -\delta_p \end{smallmatrix}$$

凹模尺寸 (如图 2-25 (c) 所示) 为:

$$B_d = (B_p + Z) \begin{smallmatrix} +\delta_d \\ 0 \end{smallmatrix}$$

式中符号意义同前。

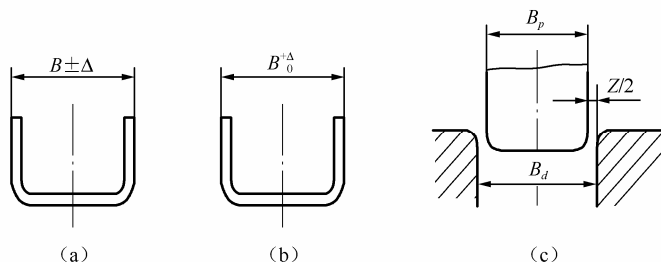


图 2-25 标注内形尺寸的弯曲件

2.7 弯曲模工序安排及结构设计技巧

2.7.1 弯曲件排样工序安排

(1) 对于形状简单的弯曲件, 如 V 形、U 形、Z 形等, 可以采用一次弯曲成形, 如图 2-26 所示。

(2) 对于形状复杂的弯曲件, 一般需要采用二次或多次弯曲成形, 其顺序一般是先弯外部弯角后弯内部弯角, 如图 2-27、图 2-28 所示。但对于尺寸小、材料薄、形状较复杂的弹性接触件, 最好采用一次复合弯曲成形。如采用多次弯曲, 则定位不易准确, 操作不方便, 同时, 材料经多次弯曲也容易失去弹性。

(3) 对于批量大而尺寸小的弯曲件，一般采用冲裁、压弯、切断连续成形工艺，如图 2-29 所示。

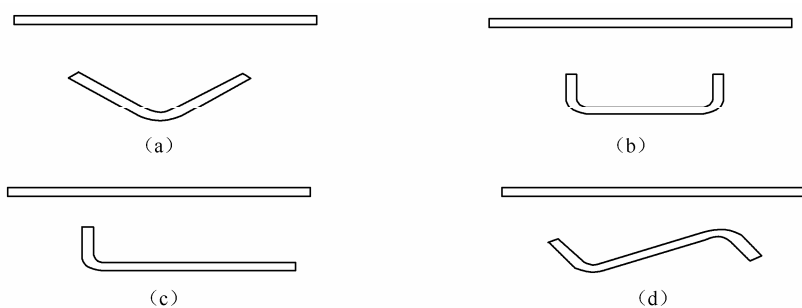


图 2-26 一次弯曲成形

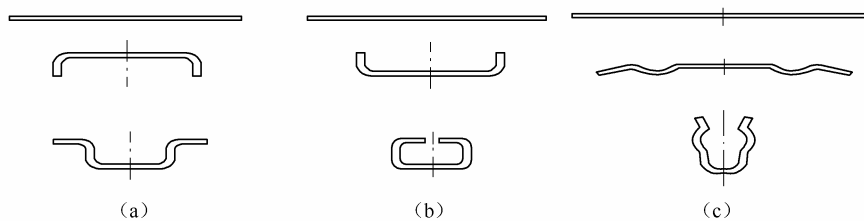


图 2-27 二次弯曲成形

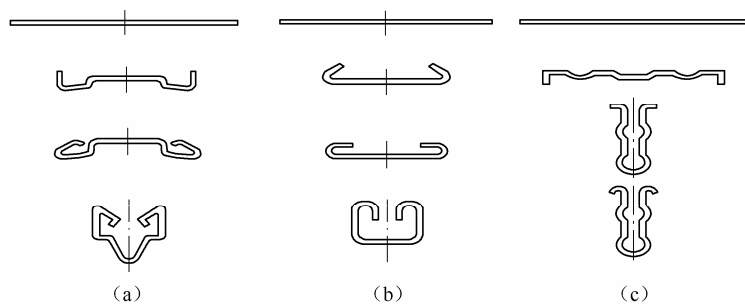


图 2-28 三次弯曲成形

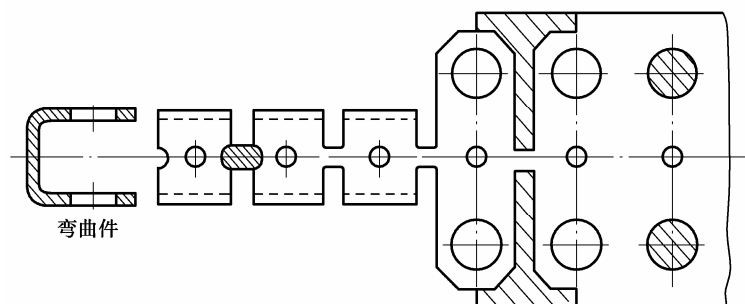


图 2-29 连续成形工艺

2.7.2 弯曲模相关结构设计

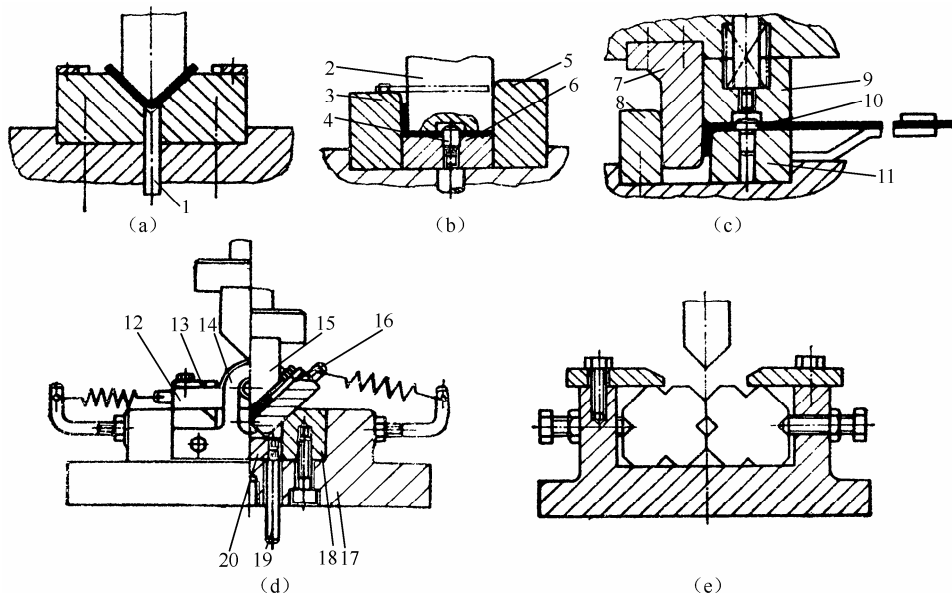
弯曲模的结构设计应在选定弯曲件工艺方案的基础上进行。在设计弯曲模时,应考虑以下几点:

- (1) 坯料在模具上应有可靠的定位。
- (2) 在弯曲过程中,应能防止坯料滑动偏移。
- (3) 为了弥补回弹,应便于对弯曲成形部分进行修正。
- (4) 为了减小回弹,在压力机滑块到达下死点时,应使制件在模具中得到校正。
- (5) 要保证毛坯放入模具和从模具中取出时操作方便。

2.7.3 常见弯曲件的模具结构选定

1. V形件弯曲模

图 2-30 (a) 所示为敞开式 V 形弯曲模。这种模具结构简单,制造方便,通用性强。图 2-30 (a) 中所示弹簧顶杆是为了防止压弯时坯料偏移而采用的压料装置,如果弯曲件精度要求不高,压料装置也可不用。图 2-30 (b)、(c) 所示均为带压料板和定位销的弯曲模,适用于两边不等长的 V 形件,其中图 (c) 适用于一边很长的 V 形件。这两种结构由于采用了压料装置和定位销,弯曲时坯料不至于偏移。图 2-30 (d) 所示为翻板式弯曲模,凹模是活动的,不工作时,凹模在拉簧及顶件块的作用下,位于水平状态(如图中左半部分所示),工作时,坯料由定位板定位,凸模下行,使凹模一方面靠凹模座滑动,另一方面绕小轴转动,从而使坯料压弯成形(如图中右半部分所示)。压弯过程中,凹模始终与坯料紧贴在一起,故坯料不至于滑动偏移,制件表面不会产生划痕且精度高。图 2-30 (e) 所示为通用 V 形弯曲模,可弯曲边长较短、宽度较大的多种弯曲件。凹模由两块组成,它有四个工作面,可以弯曲多种角度;凸模按弯曲角和圆角半径大小进行更换。



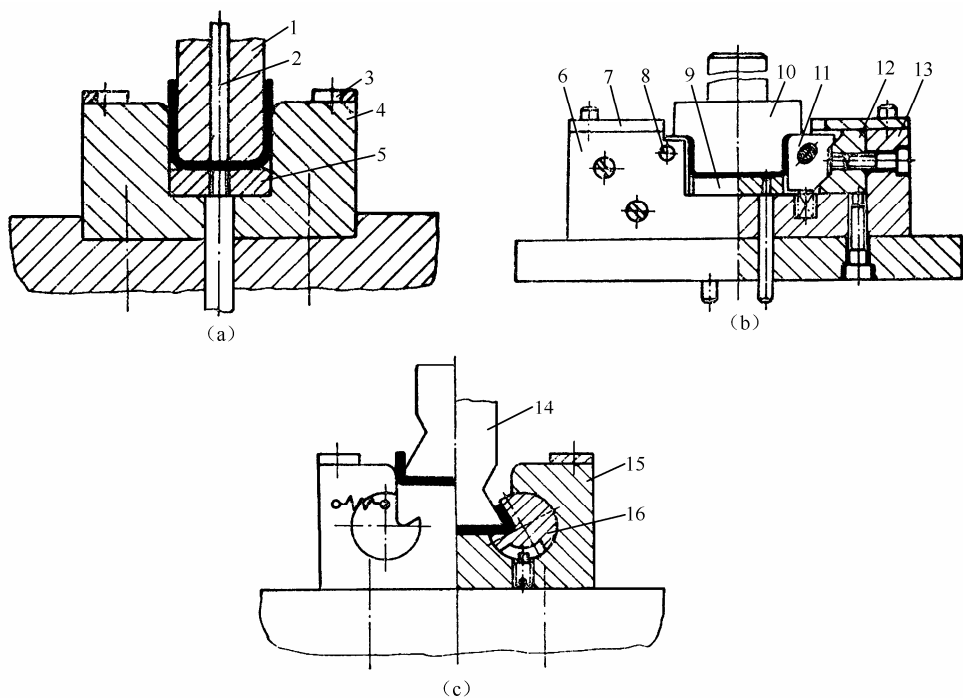
1、19—顶杆; 2、7、15—凸模; 3、11—凹模; 4、10—定位销; 5、8—止推块; 6、9—压料板;
12—活动凹模(左); 13—定位板; 14—支架; 16—活动凹模(右); 17—下模座; 18—凹模座; 20—顶件块

图 2-30 V 形件弯曲模

2. U形件弯曲模

图 2-31 (a) 所示为带压料板的 U 形件弯曲模。弯曲时压料板将坯料压住，弯曲后将工件顶起。如果工件卡在凸模上，可由推杆推下。图 2-31 (b) 所示为一套带侧压的 U 形件弯曲模。工作时，凸模下行，首先将坯料弯成 U 形，随之凸模肩部压住活动凹模一起向下，由于斜面作用使活动凹模向中心移动，对弯曲件两侧施压，起到校正作用。图 2-31 (c) 所示为闭角弯曲模，用以弯曲夹角小于 90° 的 U 形件。

U 形件可以一次弯曲成形，也可以分两次弯曲成形。图 2-32 (a) 所示为 U 形件一次成形弯曲模。U 形件一次成形摩擦严重，制件侧壁会变薄，凸缘与底部不易平行，故仅适用于弯曲件高度较小，圆角半径较大，料厚较薄的情况。图 2-32 (b) 所示为一次成形的另一种模具结构形式，其特点是采用了摆动式凹模结构，两凹模能绕销轴转动。图 2-32 (c) 所示为二次成形弯曲模，第一道工序先弯成 U 形，第二道工序再弯成 U 形。

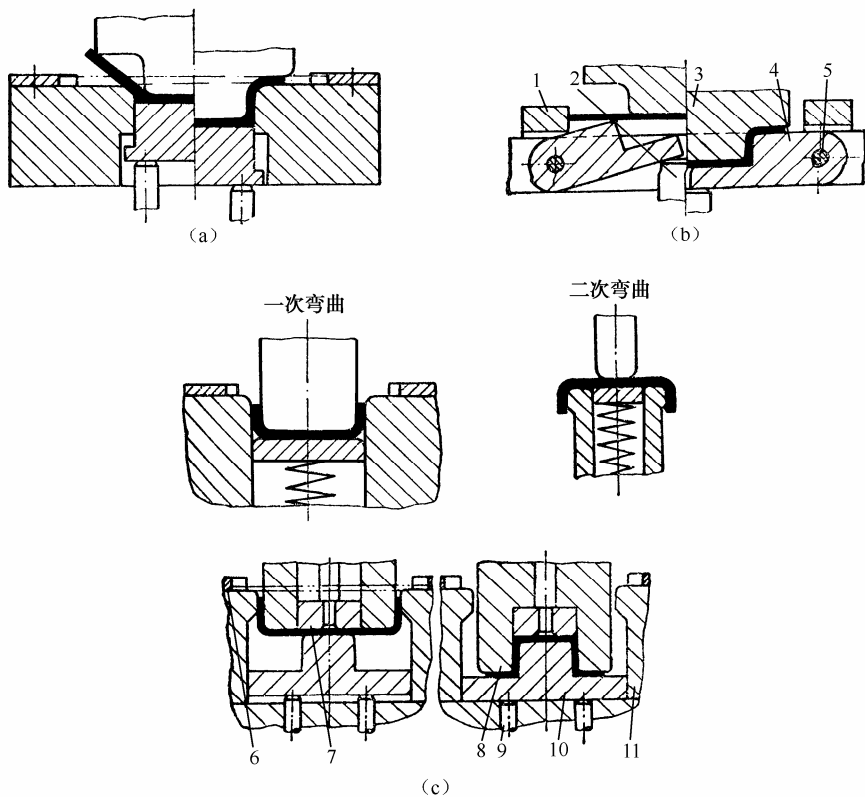


1、10、14—凸模；2—推杆；3—定位板；4、15—凹模；5—压料板；6—挡板；
7—定位板；8—轴销；9—顶件块；11—活动凹模；12—斜面；13—模座；16—转动凹模

图 2-31 U 形件弯曲模

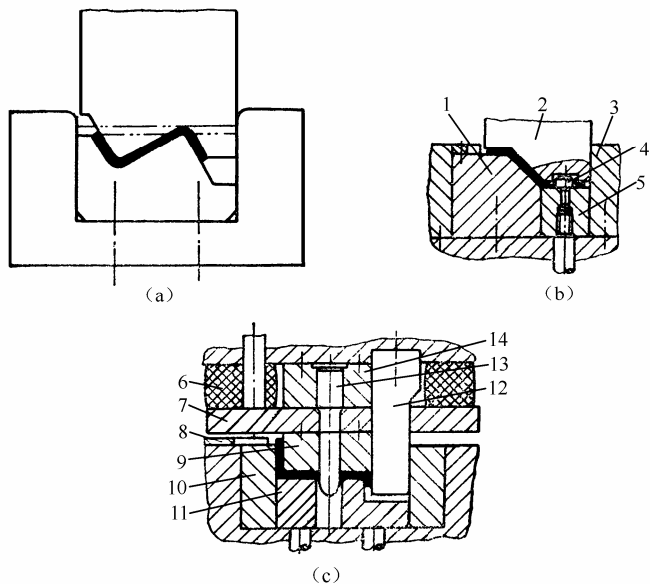
3. Z形件弯曲模

图 2-33 (a) 所示弯曲模结构简单，但没有压料装置，压弯时坯料容易滑动，用于工件精度要求不高的情况。图 2-33 (b) 中的坯料由定位板和定位销定位，压弯时凸模与压料块始终把毛坯压住，防止坯料偏移。止推块用于防止凸模偏移，同时也给压料块导向。图 2-33 (c) 所示为 Z 形件弯曲模，压弯前，由于橡皮的作用使凸模与上凹模的端面平齐，顶件块在弹顶装置作用下与下凹模上端面平齐。压弯时，凸模与顶件块将坯料压紧，由于卸料板上橡皮的弹力大于作用在顶件块上弹顶装置的弹力，迫使顶件块向下运动，完成左端的弯曲。当顶件块接触下模座后，如上模再继续下降，则迫使橡皮压缩，上凹模和顶件块完成右端的弯曲。



1、6—定位板；2、9—顶杆；3、10—凸模；4、11—凹模；5—轴销；7—推件块；8—凸凹模

图 2-32 U 形件弯曲模



1—凹模；2、9—凸模；3—止推块；4—定位销；5—压料块；6—橡皮；7—卸料板；
8—定位板；10—下凹模；11—顶件块；12—上凹模；13—导正销；14—固定板

图 2-33 Z 形件弯曲模

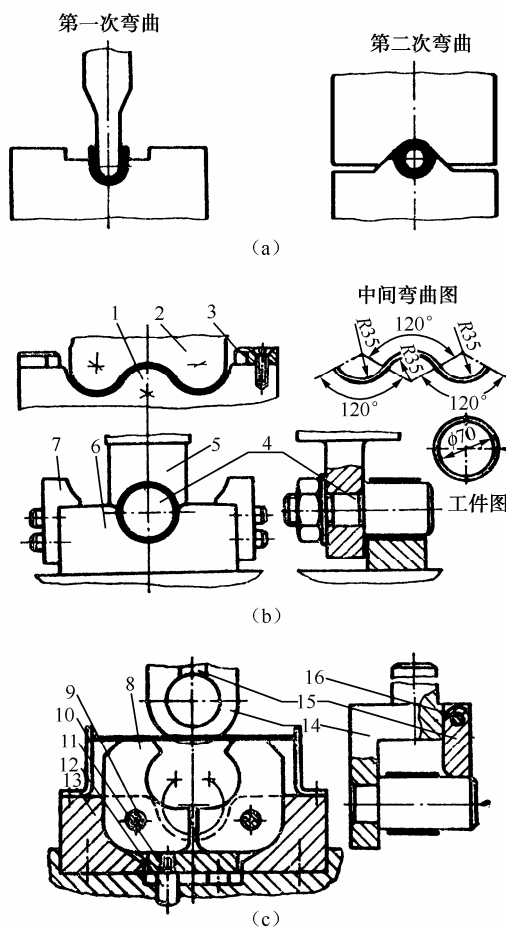
4. 圆筒形件弯曲模

常见的圆筒形件弯曲模有以下三种类型。

(a) 圆筒直径 $d < 5 \text{ mm}$ 的弯曲件属于小圆筒。一般先弯成 U 形，再由 U 形弯成圆筒。模具结构如图 2-34 (a) 所示。

(b) 圆筒直径 $d > 20 \text{ mm}$ 的弯曲件属于大圆筒。一般先弯成波浪形，然后再弯成圆筒。模具结构如图 2-34 (b) 所示。

(c) 采用摆动凹模一次弯曲成形，如图 2-34 (c) 所示，工作时，凸模首先将坯料压成 U 形，当凸模压住摆动凹模的底部时，凹模即绕销轴摆动，最后将坯料压成圆形。弯曲之后，推开支持块，将工件从凸模上取下。这种方法弯曲效率较高，但在接缝处留有缝隙和直边。



1、6—凹模；2、4—凸模；3—定位块；5—固定块；7—定位块；8—凹模块；9—轴销；10—定位板；
11—顶件块；12—顶杆；13—凹模座；14—模柄；15—支持块；16—柱销

图 2-34 圆筒形件弯曲模

5. 铰链件弯曲模

铰链件弯曲模通常先将头部预压弯然后卷圆。预压弯结构如图 2-35 (a) 所示，卷圆模结构如图 2-35 (b) 和 (c) 所示。

6. 圆棒料弯曲模

如图 2-36 所示, 这种模具的特点是, 凹模做成滚轮, 为了使圆棒料定位, 凸模和凹模上均有半圆槽。

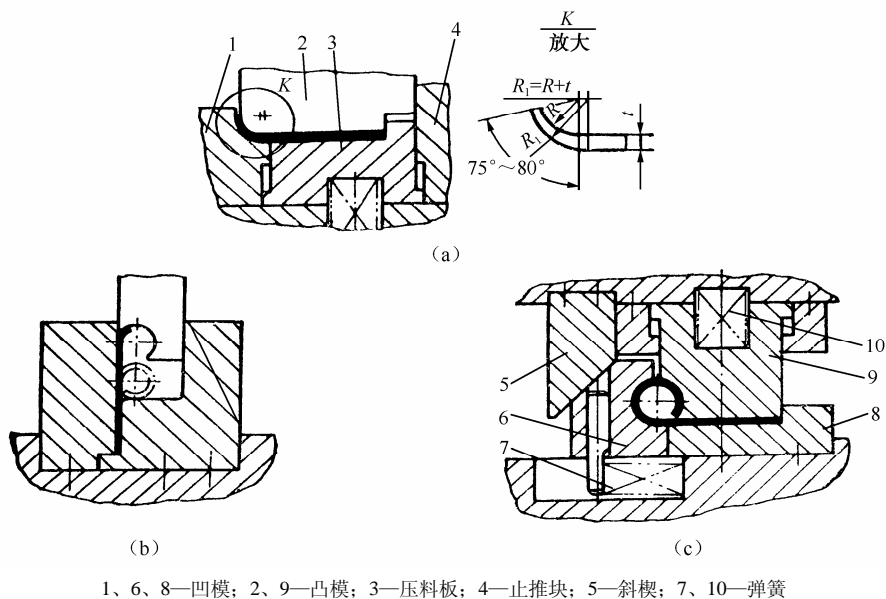


图 2-35 铰链件弯曲模

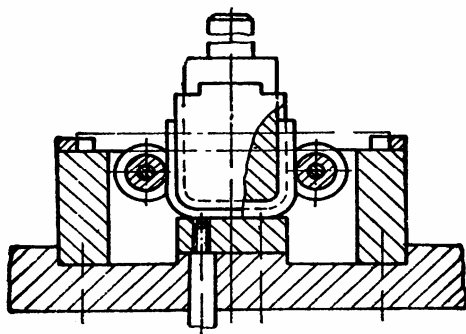


图 2-36 圆棒料弯曲模

3.1 圆筒形拉深件的拉深系数和工序计算技巧

3.1.1 拉深系数计算

圆筒形拉深件每次拉深后直径与拉深前坯料（或半成品）直径的比值，称为拉深系数，以 m 表示（如图 3-1 所示），它是衡量拉深变形程度的指标。

第一次拉深系数： $m_1 = d_1/D$ ；

第二次拉深系数： $m_2 = d_2/d_1$ ；

第 n 次拉深系数： $m_n = d_n/d_{n-1}$ ；

多次拉深的总拉深系数： $m = m_1 m_2 \cdots m_n$ 。

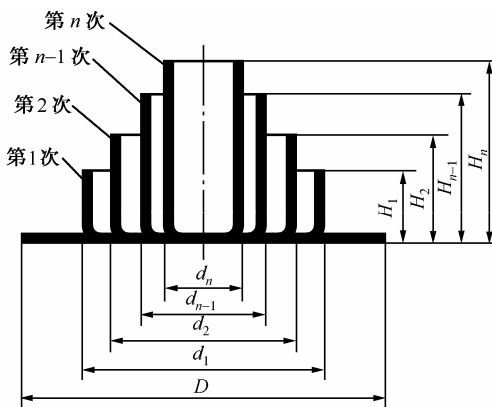


图 3-1 拉深系数

影响拉深系数的因素如下。

- (1) 材料的物理力学性能：材料塑性好、屈服比小，则 m 可小些。
- (2) 材料的相对厚度 t/D ： t/D 越大，则 m 越小。
- (3) 拉深方式：有压边圈拉深时， m 可小些；没有压边圈拉深时， m 可大些。
- (4) 拉深次数：拉深之后材料会产生加工硬化，塑性降低，故第一次拉深 m 可小些，以后各次拉深 m 应逐次增大。
- (5) 凹模与凸模的圆角半径较大，则 m 可小些，但凹模与凸模的圆角半径都不宜太大。
- (6) 润滑条件及模具表面情况：凹模表面光滑、润滑良好，均可改善金属流动条件，使 m 减小。

拉深系数的大小是由试验确定的，使用时可查表。

3.1.2 无凸缘筒形件的拉深系数、拉深次数及半成品尺寸的确定

1. 拉深系数的确定技巧

无凸缘筒形件的拉深系数确定见表 3-1～表 3-3。表 3-1 确定无凸缘筒形件有压边圈的拉深系数；表 3-2 确定无凸缘筒形件无压边圈的拉深系数；表 3-3 确定其他材料的拉深系数。

表 3-1 无凸缘筒形件有压边圈的拉深系数

拉深系数	毛坯相对厚度 $t/D \times 100$					
	2~1.5	1.5~1.0	1.0~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.08
m_1	0.48~0.50	0.50~0.53	0.53~0.55	0.55~0.58	0.58~0.60	0.60~0.63
m_2	0.73~0.75	0.75~0.76	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.82
m_3	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.84
m_4	0.78~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.83	0.83~0.85	0.85~0.86
m_5	0.80~0.82	0.82~0.84	0.84~0.85	0.85~0.86	0.85~0.87	0.87~0.88

表 3-2 无凸缘筒形件无压边圈的拉深系数

拉深系数	材料相对厚度 $t/D \times 100$								
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	>3
m_1	0.90	0.85	0.80	0.75	0.65	0.60	0.55	0.53	0.50
m_2	0.92	0.90	0.88	0.85	0.80	0.75	0.75	0.75	0.70
m_3	—	—	—	0.90	0.84	0.80	0.80	0.80	0.75
m_4	—	—	—	—	0.87	0.84	0.84	0.84	0.78
m_5	—	—	—	—	0.90	0.87	0.87	0.87	0.82
m_6	—	—	—	—	—	0.90	0.90	0.90	0.85

表 3-3 其他材料的拉深系数

材料名称	牌 号	第一次拉深 m_1	以后各次拉深 m_n
铝和铝合金	L6M、L4M、LF21M	0.52~0.55	0.70~0.75
杜拉铝	LY12M、LY11M	0.56~0.58	0.75~0.80

2. 拉深次数的确定技巧

确定无凸缘筒形件拉深次数的技巧有如下几种。

(1) 推算法：根据 t/D 和材料种类由以上各表查出 m_1 、 m_2 、 m_3 ，然后从第一道工序开始依次求出半成品直径，一直计算到得出 d_n 不大于工件直径为止，计算的次数就是拉深次数。

(2) 查表法：根据拉深件的相对高度 H/d 和坯料相对厚度 t/D ，由表 3-4 可查出对应的拉深次数。

(3) 计算法：拉深次数可以用如下公式直接计算。

$$n=1+\frac{\lg d_n - \lg(m_1 D)}{\lg m_n}$$

表 3-4 无凸缘筒形件的拉深次数

拉深次数	毛坯相对厚度 $t/D(\%)$					
	2~1.5	1.5~1	1~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.08
1	0.94~0.77	0.84~0.65	0.70~0.57	0.62~0.5	0.52~0.45	0.46~0.38
2	1.88~1.54	1.60~1.32	1.36~1.1	1.13~0.94	0.96~0.83	0.9~0.7
3	3.5~2.7	2.8~2.2	2.3~1.8	1.9~1.5	1.6~1.3	1.3~1.1
4	5.6~4.3	4.3~3.5	6.6~2.9	2.9~2.4	2.4~2.0	2.0~1.5
5	8.9~6.6	6.6~5.1	5.2~4.1	4.1~3.3	3.3~2.7	2.7~2.0

3.1.3 有凸缘筒形件的拉深系数及工序尺寸确定技巧

1. 有凸缘筒形件的分类及其拉深技巧

有凸缘筒形件一般分为两种类型（如图 3-2 所示）。

第一种：窄凸缘 $d_{\phi}/d=1.1\sim1.4$

第二种：宽凸缘 $d_{\phi}/d>1.4$

不同类型的有凸缘筒形件采用不同的拉深方法。

（1）窄凸缘筒形件。对于窄凸缘筒形件，可在开始拉深时不留凸缘，先拉成无凸缘筒形件，再在以后的拉深中形成锥形凸缘，最后通过校正工序压出水平凸缘，如图 3-3 所示，其拉深系数及工序尺寸计算都可参照无凸缘筒形件。

（2）宽凸缘筒形件。宽凸缘筒形件的拉深常用如下两种方法（如图 3-4 所示）。

第一种方法（如图 3-4（a）所示）：减小筒的直径，增加筒的高度，从而得到所需要的拉深件，而圆角半径基本保持不变，它适用于材料较薄的中、小型零件（ $d<200\text{ mm}$ ）。

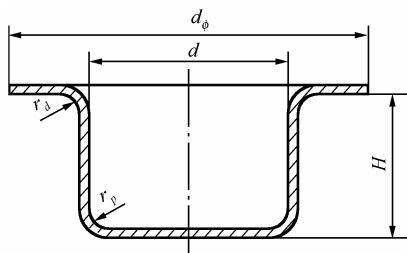


图 3-2 有凸缘筒形件

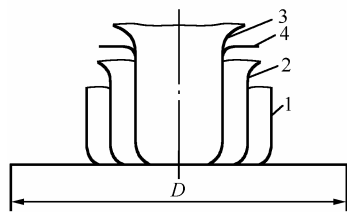


图 3-3 窄凸缘筒形件拉深方法

第二种方法（如图 3-4（b）所示）：拉深时高度基本不变，通过减小圆角半径同时减小筒的直径，从而得到所需要的拉深件。它适用于材料较厚的大型零件（ $d>200\text{ mm}$ ）。

拉深宽凸缘筒形件应特别注意：第一次拉深就要拉出所需要的凸缘直径，以后各次拉深，凸缘直径就不再变化，并且第一次拉成的筒形部分，其表面积比实际需要的多出 3%~5%。

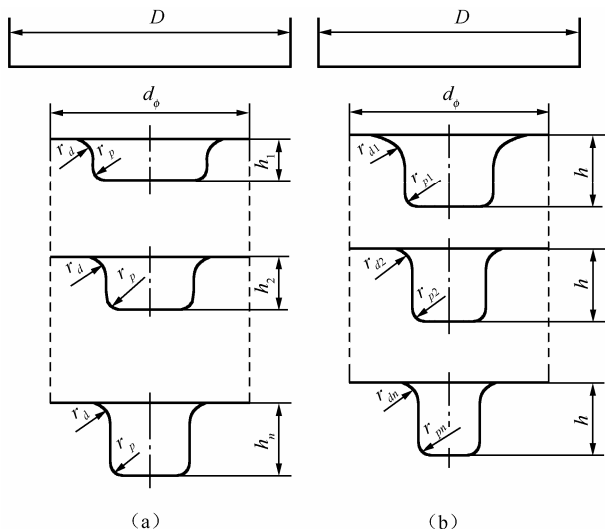


图 3-4 宽凸缘筒形件拉深方法

2. 有凸缘筒形件的拉深系数确定技巧

有凸缘筒形件第一次拉深的拉深系数与无凸缘筒形件不同,当圆角半径 $r_p=r_d=r$ 时,拉深系数可用下式表示:

$$m_1 = \frac{d_1}{D} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{d_\phi}{d_1}\right)^2 + 4\frac{H_1}{d_1} - 3.44\frac{r}{d_1}}}$$

有凸缘筒形件第一次拉深的拉深系数见表 3-5。

表 3-5 有凸缘筒形件第一次拉深的拉深系数

凸缘相对直径 d_ϕ/d_1	坯料相对厚度 $t/D(\%)$				
	0.06~0.2	0.2~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5
≤ 1.1	0.59	0.57	0.55	0.53	0.50
1.1~1.3	0.55	0.54	0.53	0.51	0.49
1.3~1.5	0.52	0.51	0.50	0.49	0.47
1.5~1.8	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45
1.8~2.0	0.45	0.45	0.44	0.43	0.42

有凸缘筒形件第一次拉深也可以用最大相对高度表示,见表 3-6。

表 3-6 有凸缘筒形件第一次拉深最大相对高度

凸缘相对直径 d_ϕ/d_1	毛坯相对厚度 $t/D(\%)$				
	0.06~0.2	0.2~0.5	0.5~1	1~1.5	1.5
≤ 1.1	0.45~0.52	0.50~0.62	0.57~0.70	0.60~0.80	0.75~0.90
1.1~1.3	0.40~0.47	0.45~0.53	0.50~0.60	0.56~0.72	0.65~0.80
1.3~1.5	0.35~0.42	0.40~0.48	0.45~0.53	0.50~0.63	0.58~0.70
1.5~1.8	0.29~0.35	0.34~0.39	0.37~0.44	0.42~0.53	0.48~0.58
1.8~2.0	0.25~0.30	0.29~0.34	0.32~0.38	0.33~0.46	0.42~0.51
2.0~2.2	0.22~0.26	0.25~0.29	0.27~0.33	0.31~0.40	0.35~0.45
2.2~2.5	0.17~0.21	0.20~0.23	0.22~0.27	0.25~0.32	0.28~0.35
2.5~2.8	0.13~0.16	0.15~0.18	0.17~0.21	0.19~0.24	0.22~0.37
2.8~3.0	0.10~0.13	0.12~0.15	0.14~0.17	0.16~0.20	0.18~0.22

有凸缘筒形件以后各次拉深的拉深系数可按无凸缘筒形件的拉深系数选取。综合改造表 3-5 及表 3-6,得表 3-7,就使带凸缘筒形件的工艺计算简便得多。

表 3-7 无或有凸缘筒形件用压边圈拉深的拉深系数

d_0/D	$t/D(\%)$		1.5		1.0		0.6		0.3		0.1	
	r_d/t	m_1	10	4	12	5	15	6	18	7	20	8
0.48		0.48										
0.50		0.48	0.50									
0.51		0.48	0.50	0.51								
0.53		0.48	0.50	0.51		0.53						
0.54		0.48	0.50	0.51	0.54	0.53						
0.55		0.48	0.50	0.51	0.54	0.53	0.55	0.55				
0.58		0.48	0.50	0.51	0.54	0.53	0.55	0.55	0.58	0.58		
0.60		0.48	0.50	0.50	0.53	0.53	0.55	0.54	0.58	0.57	0.60	
0.65		0.48	0.49	0.49	0.52	0.52	0.54	0.53	0.56	0.55	0.58	

3.2 阶梯形件、锥形件、半球形件及抛物线形件的拉深尺寸确定技巧

3.2.1 阶梯形件拉深尺寸确定技巧

阶梯形拉深件（如图 3-5 所示）拉深的变形特点与圆筒形件的拉深基本相同，其主要问题是确定需要一次拉成，还是需要多次拉成，判断方法如下：求出工件高度与最小直径之比 H/d_n ，然后根据圆筒形件拉深次数与相对高度的对应关系表查得拉深次数，如对应的拉深次数为 1，则可一次拉成，否则，需要多次拉成。

多次拉成的阶梯形件，一般的拉深方法如下：

（1）假若任意两相邻阶梯直径的比值都小于相应的圆筒形件的极限拉深系数，则其拉深方法为由大阶梯到小阶梯依次拉出，而拉深次数就等于阶梯数目（最大阶梯直径形成前所需的工序除外），如图 3-6 所示。

（2）假若某相邻两阶梯直径之比小于相应的圆筒形件的极限拉深系数，则按有凸缘件的拉深方法。例如，如图 3-7 所示的拉深件，因两相邻阶梯直径的比值小于相应的圆筒形件的极限拉深系数，所以先按宽凸缘件拉深方法拉出 d_2 之后（三次拉深），再拉出 d_n ，最后拉出 d_1 。

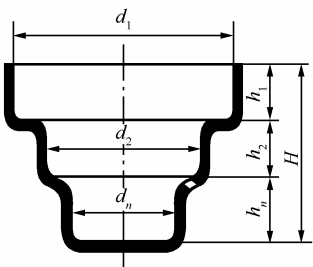


图 3-5 阶梯形拉深件

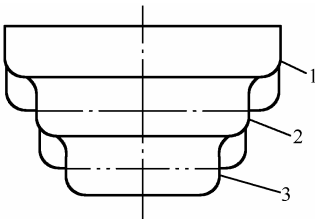


图 3-6 大阶梯到小阶梯依次拉出

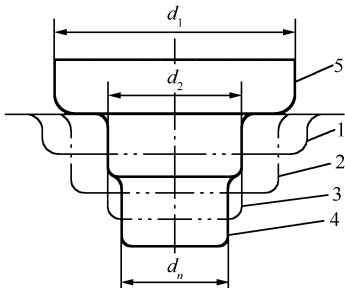


图 3-7 按宽凸缘件拉深

（3）对于浅阶梯件，阶梯直径差别大，不能一次拉出时，可先拉成球面形状（如图 3-8

(a) 所示) 或大圆角的圆筒形 (如图 3-8 (b) 所示), 然后用校形工序得到零件的形状和尺寸。如果最小阶梯直径过小且高度也较小时, 小阶梯可以用胀形得到, 如图 3-9 所示。

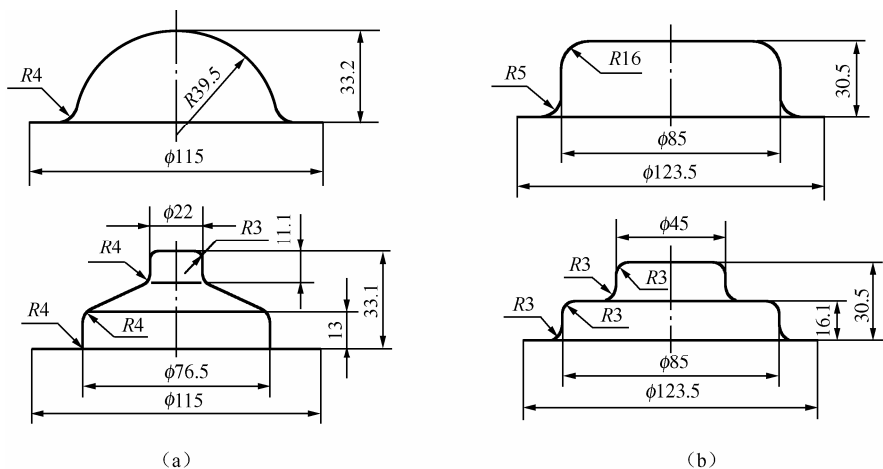


图 3-8 浅阶梯件的拉深

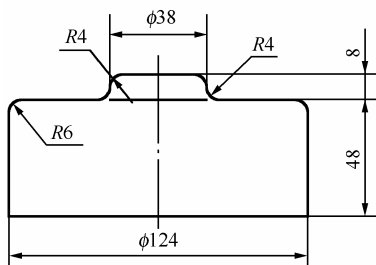


图 3-9 胀形得到小阶梯

3.2.2 锥形件拉深尺寸确定技巧

锥形件的拉深方法取决于锥形件的几何尺寸 (如图 3-10 所示):

- (1) 锥形件的相对高度越大, 拉深难度越大。
 - (2) 相对锥顶直径越小, 说明锥形件锥度越大, 则拉深越难。
 - (3) 相对厚度 t/D 较小时, 中间部分容易起皱, 故拉深越难。
- 由于几何参数不同, 锥形件拉深方法大致分为三类:

(1) 浅锥形件 ($H/d_2=0.25\sim0.3$)

① 当材料较厚时, 可用有压边圈的模具拉深 (如图 3-11 (a) 所示)。这里加压边圈是为了增大拉深力, 减小回弹, 不是为了防皱。

② 当材料厚度较小, 且锥角大于 45° 时, 可用带拉深筋的凹模拉深 (如图 3-11 (b) 所示) 或用反锥度凹模拉深 (如图 3-11 (c) 所示)。

这类工件用橡胶模或液压拉深也可得到满意的结果。

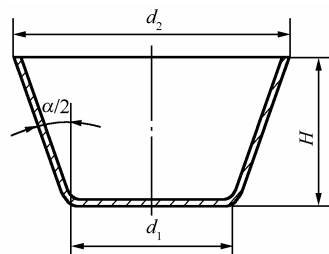


图 3-10 锥形件的几何尺寸

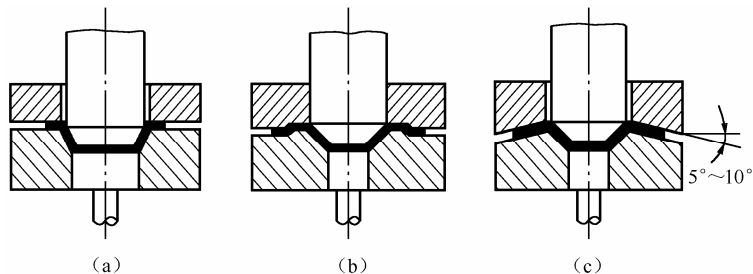


图 3-11 浅锥形件

(2) 中锥形件 ($H/d_2=0.4\sim0.7$)

这类工件根据材料相对厚度 t/D 不同, 分别采用不同的拉深方法。

① $t/D > 2.5\%$ 的锥形件, 可以用没有压边圈的模具一次拉成。为了保证精度, 需要在工作行程结束时, 对工件进行精压, 如图 3-12 所示。

② $t/D = 1.5\% \sim 2\%$ 的中锥形件, 用有压边圈的模具一次拉成。

③ $t/D < 1.5\%$ 或带有宽凸缘的中锥形件, 需用有压边圈的模具进行两次或三次拉深。图 3-13 (a) 所示为先拉成近似形状, 再拉成锥形; 图 3-13 (b) 所示为先拉成具有较大圆角半径的筒形件, 再拉成锥形。第一道工序拉入凹模的坯料面积要稍小于第二道工序所需的面积, 以使第二次拉深产生一定的胀形。

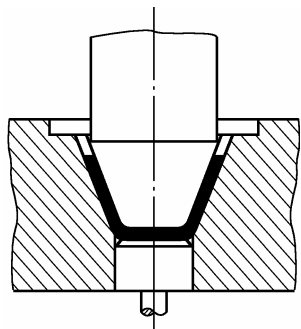


图 3-12 中锥形件 1

对于第二次拉深, 当 $t/d_2 > 1.5\%$ 时采取正拉深方法, 当 $t/d_2 < 1\%$ 时采用反拉深方法, 如图 3-14 所示。

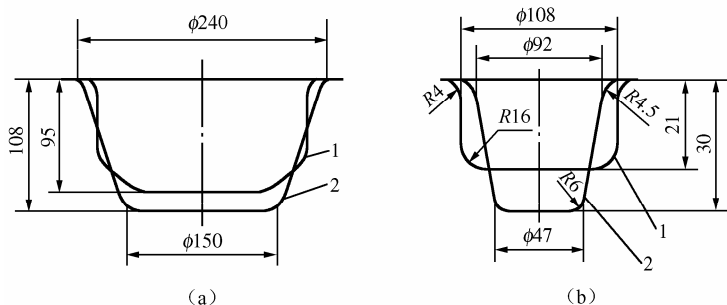


图 3-13 中锥形件 2

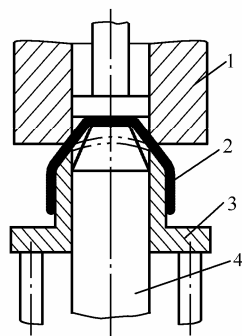
(3) 深锥形件 ($H/d_2 > 0.8$)

深锥形件需要多次拉成, 基本拉深方法有两种。

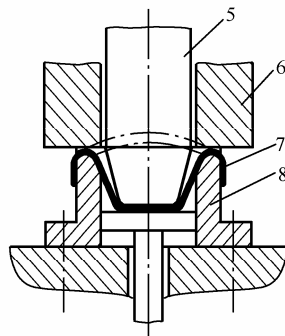
① 阶梯拉深法: 首先将坯料逐次拉成阶梯形制件, 并且使阶梯形制件与成品制件内形相切, 最后精压成锥形 (如图 3-15 所示)。这种拉深方法的缺点是: 有壁厚不均匀现象, 有明显的印痕, 制件表面不光滑, 所用的模具套数多。

② 锥面逐步成形法: 如图 3-16 所示, 先将毛坯拉成圆筒形, 其直径与锥形制件大端尺寸一致, 以后各次拉深中保持大端尺寸不变, 逐步增加锥面的高度。

锥形件拉深实例如图 3-17~图 3-20 所示。图 3-17 所示为锥形件拉深; 图 3-18 所示为深锥形件拉深; 图 3-19 所示为锥形顶部拉深件拉深; 图 3-20 所示为锥形阶梯件拉深。



(a) 正拉深方法



(b) 反拉深方法

图 3-14 正、反拉深方法

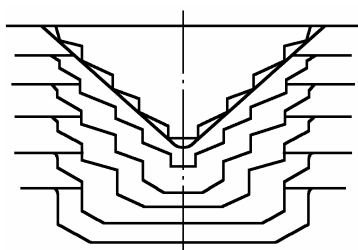


图 3-15 阶梯拉深法

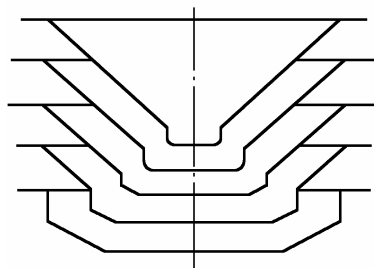
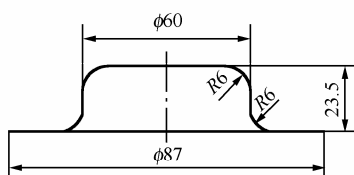
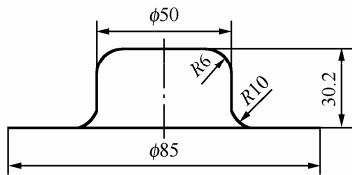


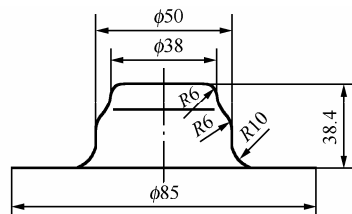
图 3-16 锥面逐步成形法



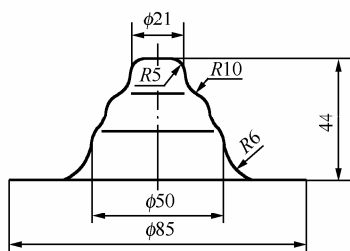
(a)



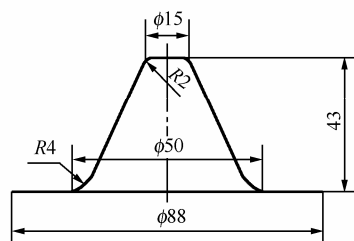
(b)



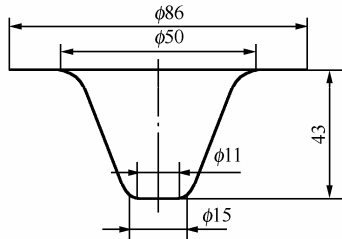
(c)



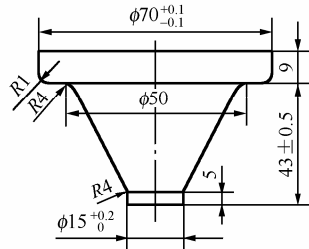
(d)



(e)



(f)



(g)

图 3-17 锥形件拉深

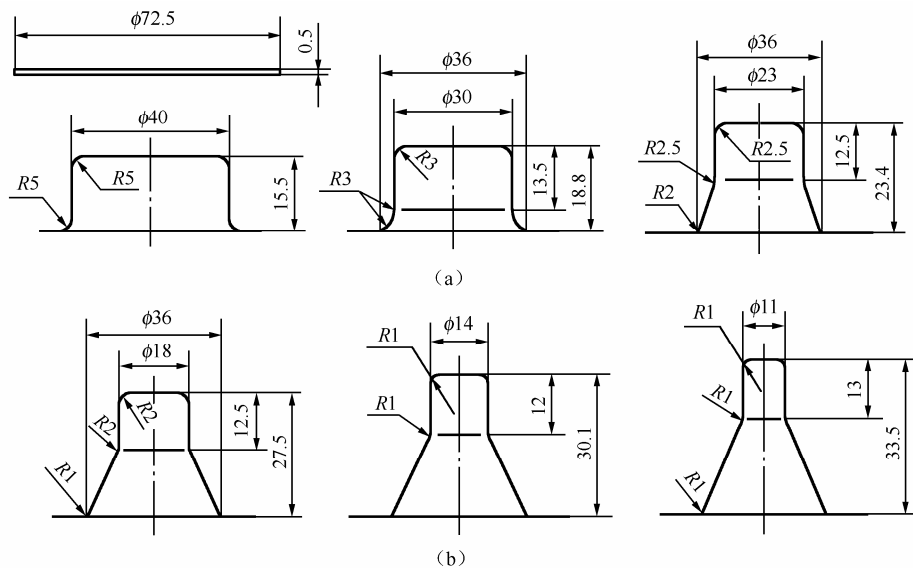


图 3-18 深锥形件拉深

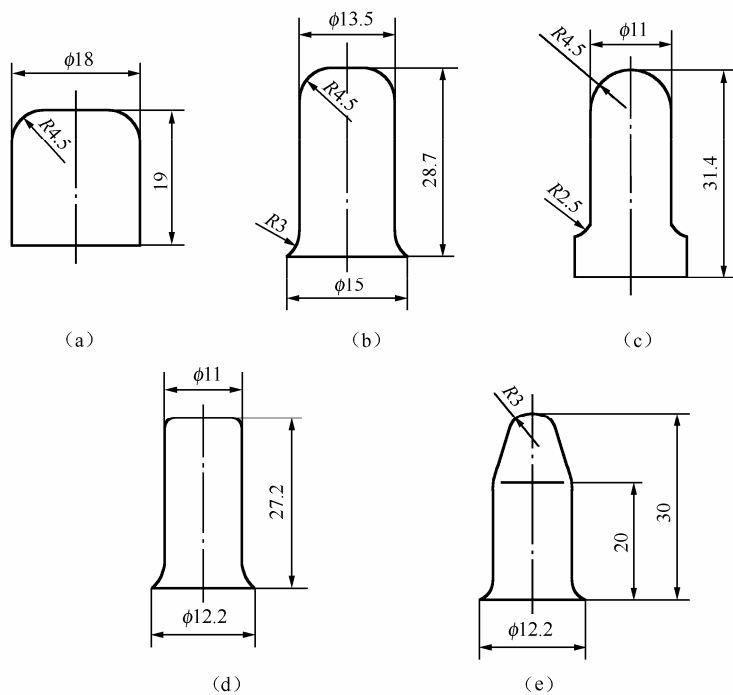


图 3-19 锥形顶部拉深件拉深

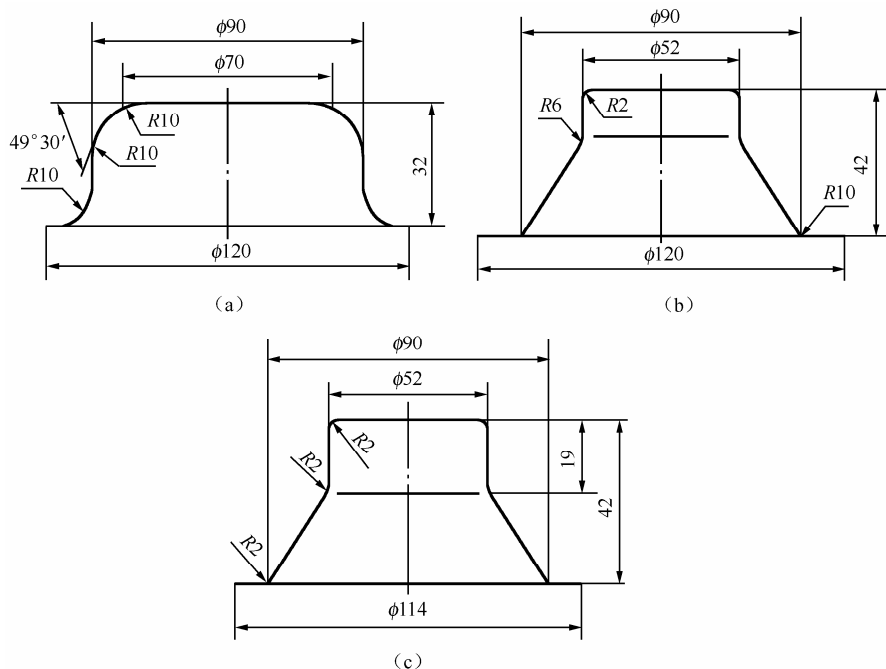


图 3-20 锥形阶梯件拉深

3.2.3 半球形件拉深尺寸确定技巧

对于任何直径的半球形件，其拉深系数均为定值 0.71，根据坯料的相对厚度不同，半球形件有如下三种拉深方法。

(1) 相对厚度 $t/D > 3\%$ ，可不用压边圈一次拉成，采用带球形底的凹模，在行程结束时进行整形，如图 3-21 所示。拉深时最好采用摩擦压力机。

(3) 相对厚度 $t/D = 0.5\% \sim 3\%$ ，一般采用有压边圈装置的模具进行拉深。

(3) 相对厚度 $t/D < 0.5\%$ ，稳定性差，需要采用有效的防皱措施。常见的方法有：

- ① 采用带拉深筋的凹模拉深；
- ② 采用反向拉深；
- ③ 采用正、反向拉深，如图 3-22 所示。

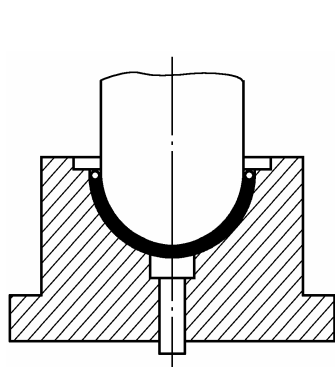


图 3-21 半球形件拉深

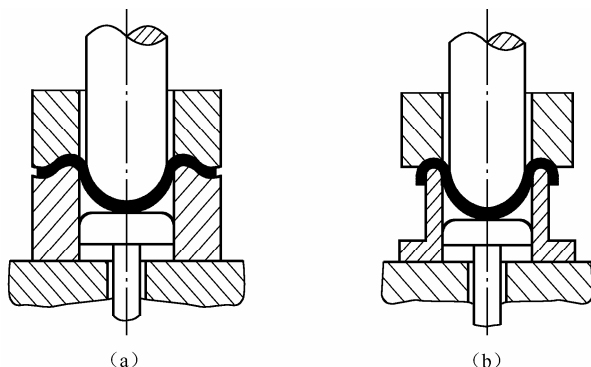


图 3-22 半球形件拉深防皱措施

3.2.4 抛物线形件拉深尺寸确定技巧

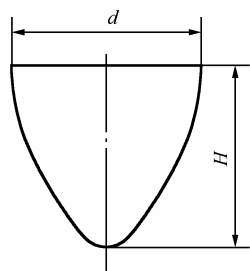


图 3-23 抛物线形件

如图 3-23 所示, 抛物线形件根据相对高度和材料相对厚度不同, 分别采用不同的拉深方法。

(1) 浅抛物线形件 ($H/d=0.5\sim 0.6$)。这种抛物线形件尺寸与半球形件差不多, 因此, 拉深方法也可参照半球形件的拉深方法。

(2) 深抛物线形件 ($H/d>0.6$)。对于深抛物线形件, 特别是 t/D 较小的工件, 需要多次拉深, 逐步成形, 具体方法有以下几种。

图 3-24 (a) 所示是先将零件上部拉成近似形状, 底部拉成平的或较大的圆角, 然后逐步拉出最后的形状; 图 3-24 (b) 所示是先拉成近似的阶梯形状, 最后通过胀形成形; 图 3-24 (c) 所示为反拉深法; 图 3-25 所示为液压拉深法。

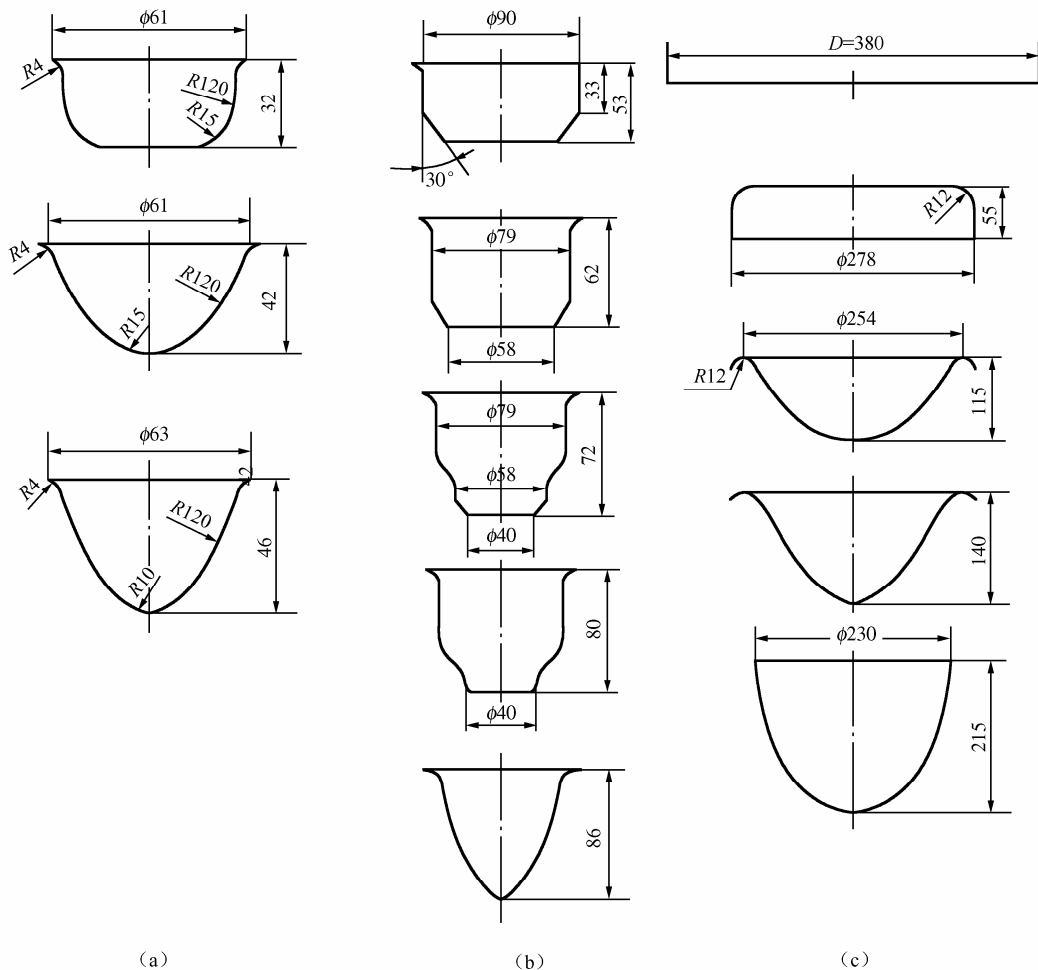


图 3-24 深抛物线形件拉深

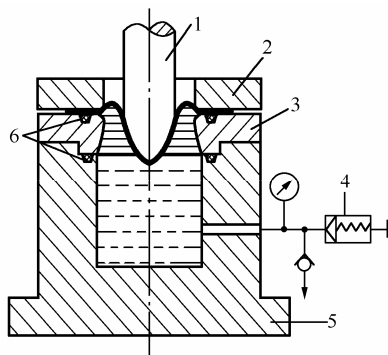


图 3-25 液压拉深法

3.3 盒形件拉深的工艺计算技巧

盒形件包括矩形盒件和方形盒件，如图 3-26 所示（方形盒 $A=B$ ）。

根据盒形件尺寸不同，盒形件有一次拉深和多次拉深两种。盒形件具有不同的坯料计算方法和工艺计算方法，现分别介绍如下。

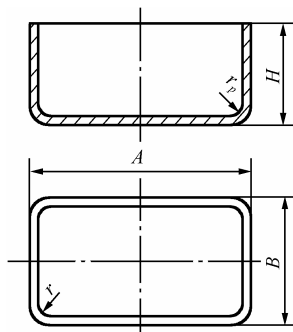


图 3-26 盒形件

3.3.1 一次拉深盒形件坯料尺寸的确定技巧

1. 角部圆角半径较小的低盒形件

其拉深特点是，只有微量的材料从盒形件的圆角处转移到侧壁上去，侧壁高度几乎没有增补。坯料的尺寸计算和作图程序如下（如图 3-27 所示）。

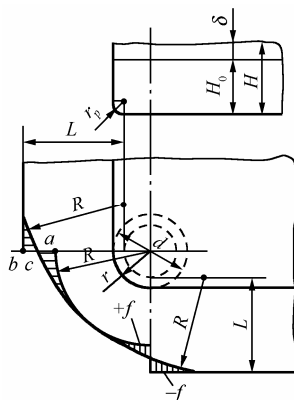


图 3-27 坯料的作图 1

- (1) 按弯曲件弯曲计算直边部分的展开长度 L ;
- (2) 按圆筒件拉深计算角部坯料半径 R ;
- (3) 直壁部分按 L , 圆角部分按 R 做出有阶梯过渡形状的坯料;
- (4) 从 ab 线段的中心向半径为 R 的圆弧引切线;
- (5) 在直线与切线的交接处用半径为 R 的圆弧光滑连接, 即可得出坯料外形。

2. 角部圆角半径较大的低盒形件

其拉深特点是, 有相当多的材料从圆角处转移到侧壁上去, 因而会较大地增补侧壁的高度。坯料尺寸计算和作图程序如下 (如图 3-28 (a) 所示):

- (1) 求出弯曲部分的长度 L 和坯料半径 R ;
- (2) 做出由圆角到直边的过渡坯料;
- (3) 求出角部加大的展开半径;
- (4) 求出直壁部分展开长度应切除的部分;
- (5) 对展开尺寸进行修正;
- (6) 根据修正后的长度和坯料半径, 再用圆弧连成光滑的外形, 就可得出所要求的坯料形状和尺寸。

这种作图法适用于 $A:B$ 在 1.5~2 以下的矩形件。

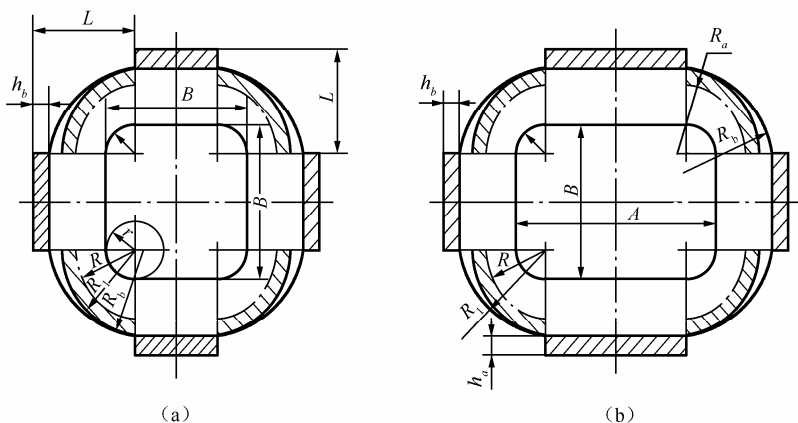


图 3-28 坯料的作图 2

3. 具有大圆角半径的较高盒形件

其拉深特点是, 有大量材料从圆角处转移到侧壁上去, 因而会大大增补侧壁的高度。坯料尺寸是根据盒形件的表面积 (按料厚中心线计算) 和坯料面积相等的原则求出的。

- (1) 对于方形盒可用圆形坯料。

(2) 对于尺寸为 $A \times B$ 的矩形盒, 可以看做由两个宽度为 R 的半方形盒和中间为 $(A-B)$ 的槽形所组成, 这时, 坯料形状是由两个半径为 R' 的半圆弧和两个平行边所组成的长圆形 (如图 3-28 (b) 所示)。图中 $R' = D/2$ (D 为宽度为 B 的方盒件的坯料直径)。

当矩形盒高度较大, 尺寸 A 与 B 相差不大时, 也可采用圆形坯料。

3.3.2 多次拉深盒形件坯料尺寸的确定技巧

根据坯料形状及其确定方法的特点, 多次拉深的盒形件可分角部具有小圆角半径的较高盒形件和高盒形件。

1. 角部具有小圆角半径的较高盒形件 ($H/B=0.5\sim0.6$)

这类零件由于圆角半径较小, 很难一次拉成, 故需两次拉深。第二次拉深近似整形, 主要目的是用来减小角部和底部圆角, 而其外形不变, 轮廓尺寸稍有改变。

因考虑到工件圆角部分要两次拉深, 材料向侧壁产生一定程度的转移, 故建议将展开圆角半径 R 加大 10%~20%。

两次拉深的相互关系应符合 (如图 3-29 所示):

(1) 两次拉深的角部圆角半径有不同的中心;

(2) 第一次拉深后的轮廓尺寸, 已接近成品拉深件的轮廓尺寸, 故第二次拉深可不用压边圈, 因此, 两工序间的壁间距 b 和角间距 x 不宜太大。

壁间距: $b=(4\sim5)t$

角间距: $x\leq 0.4b$ 或 x 取 0.5~2.5 mm。

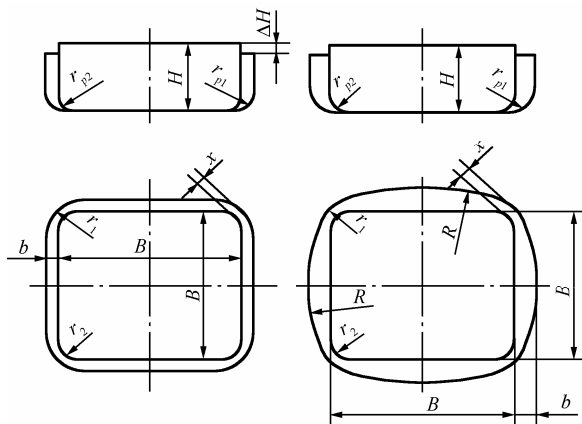


图 3-29 两次拉深的相互关系

2. 高盒形件 ($H/B=0.65\sim0.7$)

其坯料尺寸的求法与具有大圆角半径的较高盒形件相同。

4.1 冲压成形的分类技巧

4.1.1 冲压成形的定义

冲压成形一般是指利用压力机和模具对薄板制成的板坯（平面或曲面）或半成品进行有控制的变形，以获得指定形状，其材料断面保持板材基本形态的工艺方法。板材在变形过程中的受力状态主要为平面应力（即在材料厚度方向上不受力或受力很小可忽略不计，变薄拉深或翻边不在此例）。以材料厚向应力为主，改变了材料断面基本形态的变形方法（如锻造、轧制、型材挤压）属于压缩类加工，但广义的冲压成形中除前述狭义冲压成形外也可包括板坯的压印、校平、冷挤压和线材的镦压等，本书涉及的成形均为狭义冲压成形。本章讨论的是中、小型件。

4.1.2 冲压成形的分类

冲压成形一般是按工件的变形方式分类的，可分为拉深、胀形、翻边、扩孔、缩口、起伏成形等。这种分类方法的优点为直观，但不利于把握工件变形特点和变形过程中的破坏形式。科学的分类方法应该能够明确地反映出该类成形的工艺共性，并在此基础上提供一种共同的观点和方法，用以分析解决该类成形工艺中的各种实际问题，其中最主要的问题就是成形所能达到的最大变形程度及其破坏形式。

材料在变形过程中的破坏形式可分为压缩性失稳和拉伸性失稳，据此可将冲压成形分为压缩类成形和伸长类成形两大类。在实际成形中，在同一工件上的不同部位，可先后出现这两种形式的破坏，如凸缘件的拉深或覆盖件的成形，起伏成形及拉-扩成形等，板材特别是管材的弯曲也属于这种情况。我们把它们归为复合类成形，其破坏形式通常为先出现压缩性失稳，后出现拉伸性失稳，可视其出现的先后或解决的难易程度，归入前面两大类并分别考察其成形极限。

4.1.3 冲压成型的主要变形方式分类

1. 压缩类成形

（1）各种形式的拉深，包括垂直壁类与非垂直壁类的旋转体与非旋转体拉深。非垂直壁拉深件中，其壁可以是锥面，也可以是曲面。拉深成形中的典型零件为带凸缘或不带凸缘的圆筒拉深件、皿形体、盒形件等。其破坏形式先是凸缘或侧壁起皱，后是底部圆角处因材料强度不足产生的 α 破裂，为复合类成形，归入压缩类成形研究。

（2）各种形式的压缩类翻边，包括平面、曲面、折面的凸缘翻边，其翻边方向均指向曲率中心，其破坏形式为起皱。

（3）各种管件、盒形件的缩口、缩径、收口，其破坏形式也是起皱。

2. 伸长类成形

（1）平板（或曲板）上的各种形式胀形，包括垂直壁类与非垂直壁类的旋转体与非旋转体平面胀形。其典型零件为平板上的各种局部凸起——压窝、压加强肋等起伏成形及平面扩孔。其破坏形式也会出现凸缘翘曲或起皱，但主要为底部圆角处或孔边缘因材料延性不足产生的 β 破裂，归入伸长类成形。

（2）各种形式的伸长类翻边，包括平面或曲面的小孔翻边及凸缘翻边。其翻边方向均背向曲率中心，其破坏形式为边缘 β 破裂。

(3) 各种管件的扩口、增径, 其破坏形式也是孔边缘 β 破裂。

4.1.4 科学分类的重要意义

压缩类和伸长类变形在冲压加工中出现的问题, 产品质量问题的形式和这些问题的解决方法都有很大的不同。

对于任何材料, 毛坯变形区的变形能力都不可能无限大, 超过一定极限就可能发生破坏(此极限称为成形极限, 与此有关的系数称为成形系数)。发生破坏的形式则为失稳。对于伸长类成形, 则为拉伸性失稳——缩颈、破裂; 对于压缩类成形则为压缩性失稳——起皱, 如胀形的破裂, 拉深凸缘的起皱等。

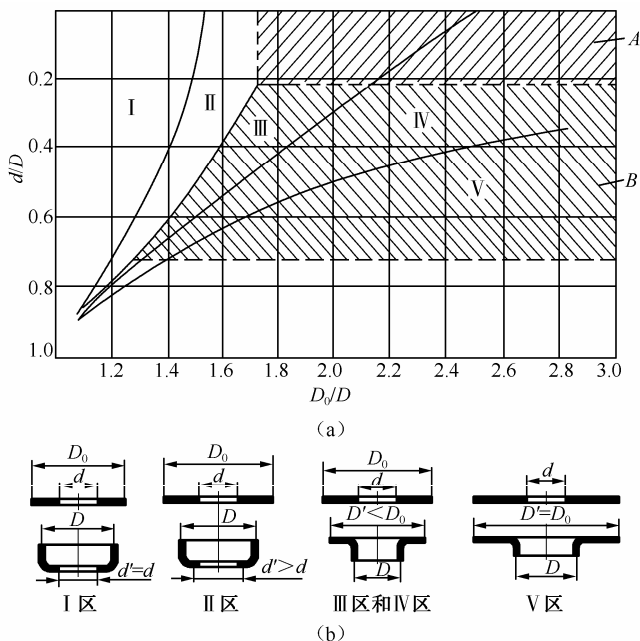
因此, 我们在确定成形极限及提出解决成形缺陷的方法时可根据伸长类和压缩类变形的不同力学特点采用不同的方法。

4.2 翻孔和翻边工艺与模具设计技巧

翻孔是在有预制孔的坯料上(有时可无预制孔, 即顶破翻孔), 对材料进行拉深, 使其沿一定的曲线翻成竖立直边。

翻边是将坯料的外缘拉深或压缩成为高度不大的竖边。

进行翻孔或翻边时, 由于 D_0/D 和 d/D 组合不同, 其变形情况如图 4-1 (a) 所示分为 I ~ V 个工艺区域。上方的 A 区为翻边或翻孔的禁区, 在这个区域内翻孔或翻边会形成圆角裂纹, 有时会产生底部的断裂。图 4-1 (b) 所示为各区域翻边或翻孔的相应结果。试验条件是: 材料为软钢, 法向各向异性系数 $\Delta r = 1$; 模具圆角半径 $r_{凹} = r_{凸} = 5t$ (t 为料厚)。



D_0 —坯料直径; D —翻边或翻孔后外径; d —预冲孔直径

图 4-1 取决于 $\frac{D_0}{D}$ 和 $\frac{d}{D}$ 组合的各种翻边及翻孔情况

4.2.1 翻孔模具设计

1. 圆孔翻孔设计

(1) 圆孔翻孔的工艺性审查。如图 4-2 所示, 竖边与凸缘平面的圆角半径 $r \geq 1.5t + 1 \text{ mm}$, 一般当 $t < 2 \text{ mm}$ 时, 取 $r = (4 \sim 5)t$; 当 $t > 2 \text{ mm}$ 时, 取 $r = (2 \sim 3)t$ 。如要求小于以上数值, 应增加整形工序。

预制孔的表面质量直接影响翻孔质量和极限变形程度。孔边的毛刺易导致翻孔破裂。

翻孔时竖边口部变薄严重。其近似厚度按下式计算:

$$t_1 = t(d/D)^{1/2}$$

式中各符号如图 4-2 所示。

(2) 平板上翻孔的毛坯, 计算翻孔后的几何尺寸。按体积不变的原则确定。通常当翻边高度 h 已知, 待翻边的孔径可用简单弯曲的近似方法计算。由于材料越靠近孔口切向变形越大, 因此此处有很大的变薄量。

预制孔直径: $d = D - 2(h - 0.43r - 0.72t)$

翻边高度: $h = (D - d)/2 + 0.43r + 0.72t$

式中各符号如图 4-2 所示。

竖边较高, 经计算一次不能翻出时, 对单个工件的小孔可采用变薄翻孔 (挤径翻孔)。对大孔或带料上连续拉深后的翻孔, 应采用拉深后冲底孔再翻孔的工艺, 如图 4-3 所示。

有预拉深的翻孔, 其尺寸按下式计算:

$$h_2 = (D - d)/2 + 0.57r$$

$$d = D + 1.14r - 2h_2$$

式中各符号如图 4-3 所示。

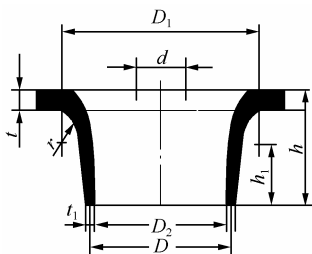


图 4-2 平板上有预制孔翻孔

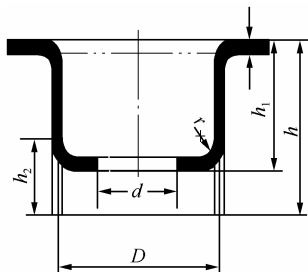


图 4-3 预拉深的翻孔

(3) 翻孔系数 K 。圆孔翻孔的变形程度决定于坯件预制孔直径与翻孔后孔径之比 K , 如图 4-2 所示。

$$K = d/D$$

式中 d ——预制孔直径;

D ——翻孔后的孔径 (按中线计算)。

翻孔系数 K 的近似值可用深长率 σ 和断面收缩率 ψ 计算:

$$\sigma = (\pi D - \pi d) / \pi d = (1 - K) / K$$

$$K = 1 - \psi$$

极限翻孔系数 K_{\min} 是指翻孔的孔边不破裂所能达到的最大变形程度时的 K 值, 它与预制

孔的加工性质和状态（钻孔或冲孔、有无毛刺、毛刺的分布表面），坯料的相对厚度，材料的种类及性能，凸模工作部分的形状等因素有关。低碳钢的极限翻孔系数见表 4-1，其他一些材料的翻孔系数见表 4-2。

表 4-1 低碳钢的极限翻孔系数

翻 孔 方 法	孔的加工方法	比 值 d/t										
		100	50	35	20	15	10	8	6.5	5	3	1
球形凸模	钻后去毛刺	0.70	0.60	0.52	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.25	0.20
	用冲孔模冲孔	0.75	0.65	0.57	0.52	0.48	0.45	0.44	0.43	0.42	0.42	—
圆柱形凸模	钻后去毛刺	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.42	0.40	0.37	0.35	0.30	0.25
	用冲孔模冲孔	0.85	0.75	0.65	0.60	0.55	0.52	0.50	0.50	0.48	0.47	—

注： t —材料厚度；
 d —预制孔直径。

表 4-2 其他一些材料的翻孔系数

退火的材料	翻 边 系 数		退火的材料	翻 边 系 数	
	K	K_{\min}		K	K_{\min}
白铁皮	0.70	0.65	铝 ($t=0.5\sim5\text{mm}$)	0.70	0.64
黄铜 H62 ($t=0.5\sim6\text{mm}$)	0.68	0.62	硬铝	0.89	0.80

在竖边的口部允许有不大的裂纹时可用 K_{\min} 。翻孔时预冲孔有毛刺的一面应向上（翻孔凸模由上向下冲）。

经退火的材料，可选用表 4-1 中与钻孔相接近的极限翻孔系数，但退火不应引起结晶颗粒粗化。

(4) 翻孔力的计算。用圆柱形凸模进行翻孔时的翻孔力 F_c ：

$$F_c=1.1\pi t\sigma_s(D-d)$$

式中 F_c ——翻孔力；
 σ_s ——材料的屈服点；
 D ——翻孔直径（按中线计）；
 d ——坯料预制孔直径；
 t ——坯料厚度。

顶破翻孔力 $F_B=(1.33\sim1.75)F_c$ ，凸模形状和间隙对翻孔力有很大影响，用球形或锥形凸模翻孔时， F_c 略小于用上式计算所得的值。

(5) 翻孔间隙。一般圆孔翻孔的单边间隙 $Z/2$ 控制在 $(0.75\sim0.85)t$ ，可以使孔壁稍微变薄且垂直度好。当 $Z/2=(4\sim5)t$ 时，翻孔力可降低 30%~35%。这种翻孔的特点是圆角半径大，竖边高度低，目的是为了减小板厚，增加结构的刚度等。

螺纹底孔或与轴配合的小孔翻孔时， $Z/2=0.65t$ 。

(6) 翻孔凸模形式，如图 4-4 所示。

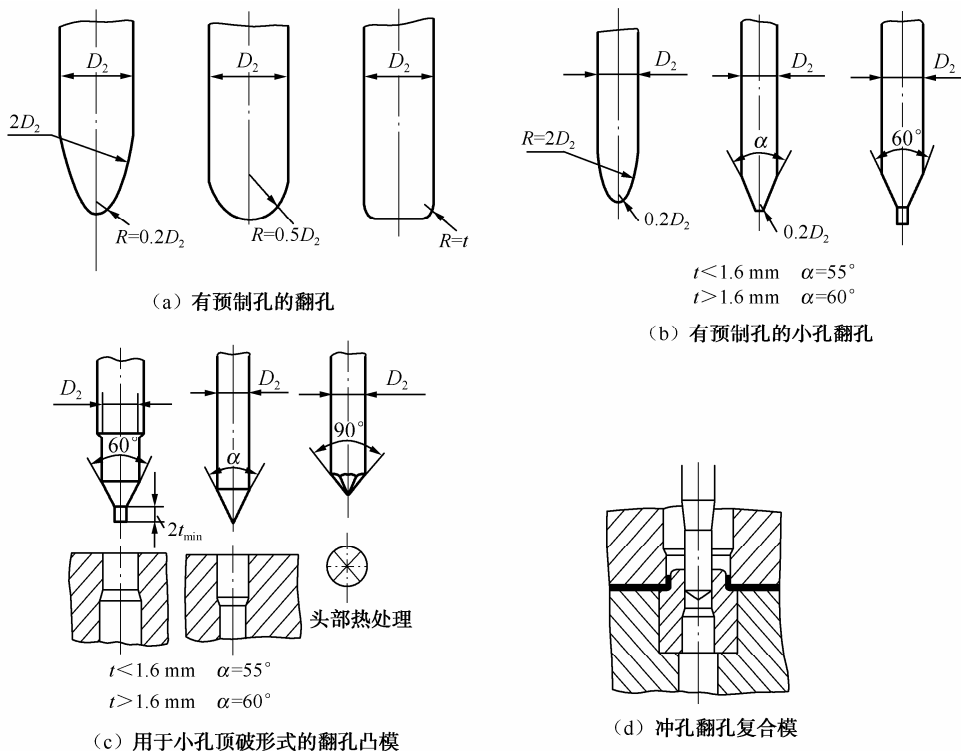


图 4-4 几种常用的圆孔翻孔凸模的形式和尺寸

2. 非圆形孔的翻孔设计

(1) 用于减小板厚、减轻工件重量和增加结构的刚度，竖边高度不大，一般为 $(4\sim6)t$ ，并对其精度、表面粗糙度无较高要求。

(2) 预制孔的形状和尺寸。

可根据开口的形状分区考虑。如图 4-5 所示，可分 8 个区域，其中区域 2、4、6、7 和 8 可视为局部的圆孔翻孔，区域 1 和 5 可视为简单弯曲，而区域 3 与拉深情况相同。故预制孔的形状和尺寸应分别按圆孔翻孔、弯曲与拉深计算。

转角翻边后会使得竖边高度略有降低，其宽度应比直线部分的宽度增大 5%~10%。计算得出的孔形和尺寸，经适当修正后，将各段连接处连成平滑的圆弧过渡即可。

(3) 最小圆角部分极限翻孔系数的确定。

由于相邻部分的作用，其极限翻孔系数可比相应的整个圆孔翻孔小些。

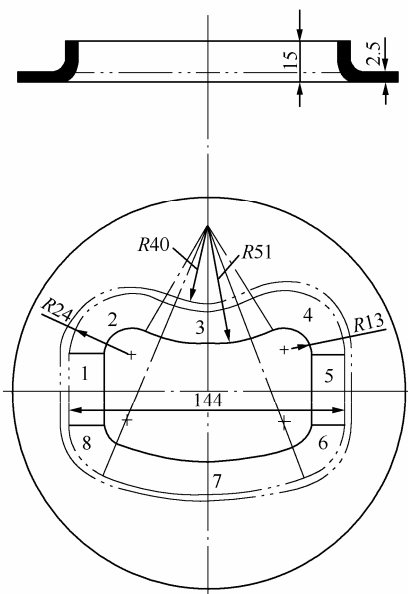


图 4-5 非圆孔的翻孔

4.2.2 外缘翻边模具设计

外缘翻边分外凸和内凹轮廓两种。前者属于压缩类翻边，类似于不用压边圈的浅拉深。

后者属于伸长类翻边，与翻孔相似，如图 4-6 所示。

压缩类翻边在翻边的凸缘内产生压应力，易起皱。伸长类翻边在凸缘内产生拉应力易破裂。其变形程度 E 用下式表示。

压缩类翻边： $E_{\text{压}} = b/(R+b)$

伸长类翻边： $E_{\text{伸}} = b/(R-b)$

各种材料在外缘翻边时的允许变形程度见表 4-3。

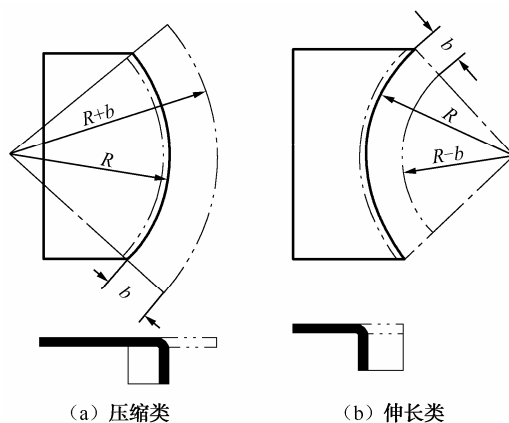


图 4-6 压缩类和伸长类外缘翻边

表 4-3 外缘翻边时材料的允许变形程度 (%)

金属和合金的名称		伸长类变形程度 $E_{\text{伸}}$		压缩类变形程度 $E_{\text{压}}$	
		橡皮成形	模具成形	橡皮成形	模具成形
铝 合 金	L4M	25	30	6	40
	L4Y1	5	8	3	12
	LF21M	23	30	6	40
	LF21Y1	5	8	3	12
	LF2M	20	25	6	35
	LF2Y1	5	8	3	12
	LY12M	14	20	6	30
	LY12Y	6	8	0.5	9
	LY11M	14	20	4	30
	LY11Y	5	6	0	0
黄 铜	H62 软	30	40	8	45
	H62 半硬	10	14	4	16
	H68 软	35	45	8	55
	H68 半硬	10	14	4	10
钢	10#	—	38	—	10
	20#	—	22	—	10
	1Cr18Ni9 软	—	15	—	10
	1Cr18Ni9 硬	—	40	—	10
	2Cr18Ni9	—	40	—	10

外缘翻边用橡皮模翻边,如图4-7所示。图4-8所示为内孔外缘同时翻边的方法。

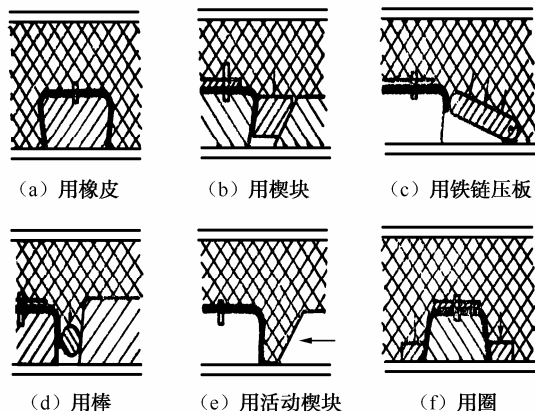


图4-7 各种用橡皮模翻边方法

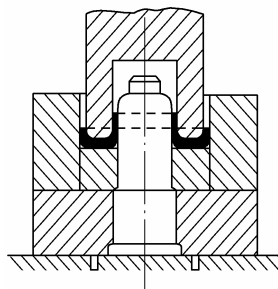


图4-8 内孔外缘同时翻边的方法

4.3 胀形工艺与模具设计技巧

4.3.1 胀形工艺与胀形模

胀形橡皮模如图4-9所示;拼块式胀形模如图4-10所示,拼块由楔式芯块将其分开;柔性胀形模如图4-11所示,用液体作为胀形凸模;图4-12所示为用聚氨酯橡胶棒作为胀形凸模。

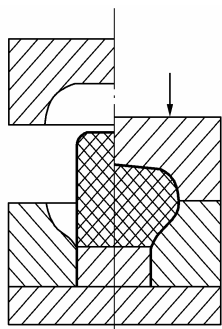


图4-9 胀形橡皮模

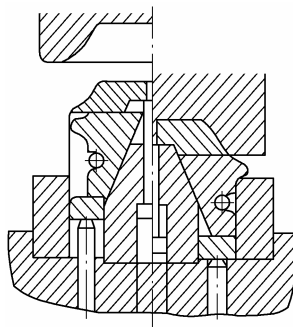


图4-10 拼块式胀形模

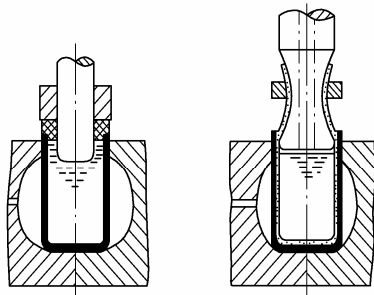


图4-11 柔性胀形模

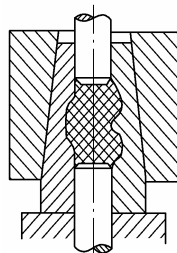


图4-12 用聚氨酯橡胶棒作为胀形凸模

4.3.2 胀形变形程度

胀形变形程度可用胀形系数 $K_{\text{胀}}$ 表示:

$$K_{\text{胀}} = d_{\text{max}}/d$$

式中 d_{max} —胀形后的最大直径;

d ——圆筒毛坯的直径。

胀形系数值见表 4-4 和表 4-5。

表 4-4 许可胀形系数的近似值

材 料	毛坯相对厚度 $\frac{t}{D}$ (%)			
	0.45~0.35		0.32~0.28	
	未退火	退 火	未退火	退 火
10#钢	1.10	1.2	1.05	1.15
铝	1.2	1.25	1.15	1.2

表 4-5 铝管坯料的极限胀形系数

胀 形 方 法	极限胀形系数	胀 形 方 法	极限胀形系数
用橡皮의简单胀形	1.2~1.25	局部加热至 200~250℃时胀形	2.0~2.1
用橡皮并对毛坯轴向加压的胀形	1.6~1.7	加热至 380℃用锥形凸模的端部胀形	2.2~3.0

当对径向加压的同时对轴向也加压时, 或对变形区进行局部加热时, 均可使极限胀形系数显著增大。

4.3.3 胀形力 F 的计算

$$F = PA$$

式中 F ——胀形力;

P ——胀形单位压力;

A ——胀形面积。

胀形单位压力 P 可用下式计算:

$$P = 1.15 \sigma_b (2t/d_{\text{max}})$$

式中 σ_b ——胀形变形区真实压应力, 近似估算时取材料的抗拉强度;

d_{max} ——胀形的最大直径;

t ——材料原始厚度。

4.4 起伏成形工艺与模具设计技巧

起伏成形是材料的局部范围经拉深形成凹进或凸起。

4.4.1 起伏成形判断

起伏成形的例子如图 4-13 所示。

- (1) 压制加强肋和凸形；
- (2) 压制工件表面上的浮雕形（凸、凹形）；
- (3) 不对称开口制件的冷压成形。

在宽凸缘件拉深时，当凸缘宽度大于某一数值后，由最小阻力定理可知，毛坯的外缘尺寸在成形前后保持不变。工件的成形将主要靠凸模下方及附近地区材料的拉薄，极限成形高度与坯料直径不再有关，属于起伏成形范围。其 d/D_0 在 0.35~0.38 之间，如图 4-14 所示，图中，曲线以上为破裂区，以下为安全区，线上为临界状态。

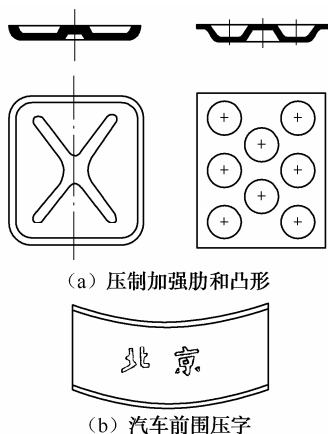


图 4-13 起伏成形的例子

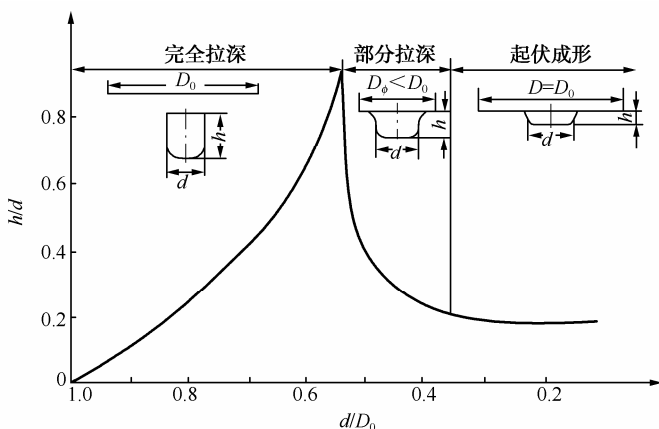


图 4-14 拉深与起伏成形的分界

4.4.2 起伏成形工艺计算

根据工件形状的复杂程度和材料性质，起伏成形可以由单工序或多工序来完成。材料在一次成形工序中的极限伸长率，可以概略地根据变形区的尺寸来计算：

$$\text{一次成形的极限伸长率} = (L_1 - L)/L < 0.75\delta$$

式中 L_1 ——起伏成形后沿截面的材料长度；

L ——起伏成形前材料原长；

δ ——材料的伸长率。

如不符合上述条件，应增加工序次数，如图 4-15 所示。

图 4-16 所示为冲制加强肋时，随相对深度 h/L 的变化，材料伸长率的变化情况。曲线 1 是计算值，曲线 2 以上的画斜线部分是实际使用值，由于靠近加强肋处的材料承受拉深，故其值略小。

材料的伸长率越大，其极限伸长率也越大。此外，较大的硬化指数，冲模工作部分圆滑而表面粗糙度小，润滑良好，都有利于极限伸长率的提高。

起伏成形的间距和边距见表 4-6。

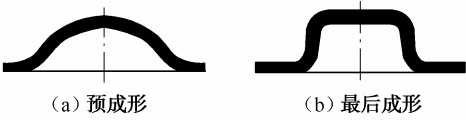


图 4-15 采用两道工序完成的凸形

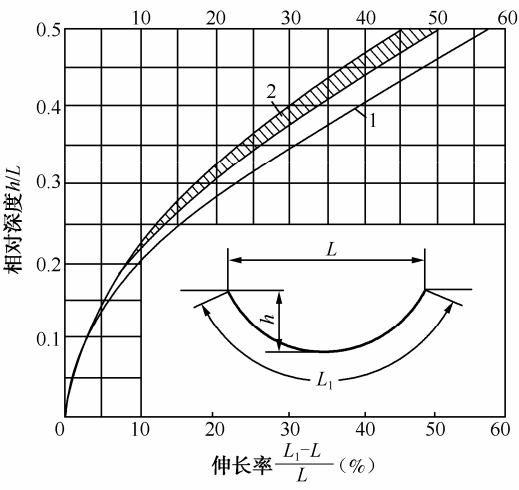


图 4-16 压制加强肋时材料的伸长率

表 4-6 起伏成形的间距和边距 (mm)

简 图	<i>D</i>	<i>l</i> ₁	<i>l</i>
	6.5	10	6
	8.5	13	7.5
	10.5	15	9
	13	18	11
	15	22	13
	18	26	16
	24	34	20
	31	44	26
	36	51	30
	43	60	35
	48	68	40
	55	78	45

4.4.3 压制加强肋时所需的力计算

可近似用下式计算：

$$F=LtK\sigma_b$$

- 式中 F ——压肋力；
 L ——加强肋长度；
 σ_b ——材料的抗拉强度；
 K ——系数，与肋的宽度及深度有关，在 0.7~1 的范围内；
 t ——料厚。

4.5 缩口成形工艺与模具设计技巧

缩口是将无凸缘拉深的空心件或管坯的开口直径缩小的变形工艺，如图 4-17 所示。

坯件缩口前、后的开口直径变化不宜过大，压缩变形剧烈会起皱（可在坯件内装入心柱，以防起皱），必要时需要进行多次缩口。

4.5.1 缩口变形程度的计算

1. 总的缩口系数 $K_{\text{缩}}$

$$K_{\text{缩}}=d_n/D$$

式中 d_n ——工件开口端要求缩小的最后直径；

D ——空心坯件的直径。

2. 每道工序的平均缩口系数 K_j

$$K_j = d_1/D = d_2/d_1 = \cdots = d_n/d_{n-1}$$

式中， d_1 、 d_2 、 \cdots 、 d_n 分别为第 1 次、第 2 次、 \cdots 、第 n 次缩口后的外径。

3. 缩口次数 n

$$n=\lg K_{\text{缩}}/\lg K_j$$

缩口系数与模具的结构形式关系很大，此外还与材料的厚度和种类有关。材料厚度小，则系数要相应取大值。例如，无心柱式的模具，材料为黄铜板，其厚度在 0.5 mm 以下时 K_j 取 0.85；厚度在 0.5~1 mm 时， K_j 取 0.8~0.7。0.5 mm 以下的软钢，其平均缩口系数按 0.8 计算，表 4-7 列出了几种材料的缩口系数。

通常首道工序的缩口系数为：

$$K_1=0.9K_j$$

以后各次工序的缩口系数为：

$$K_n=(1.05\sim1.1)K_j$$

表 4-7 平均缩口系数 K_j

材 料 名 称	模 具 形 式		
	无 支 承	外 部 支 承	内 外 支 承
软 钢	0.70~0.75	0.55~0.60	0.30~0.35
黄铜 H62、H68	0.65~0.70	0.50~0.55	0.27~0.32
铝	0.68~0.72	0.53~0.57	0.27~0.32
硬铝（退火）	0.73~0.80	0.60~0.63	0.35~0.40
硬铝（淬火）	0.75~0.80	0.68~0.72	0.40~0.43

图 4-18 所示为有支承的缩口模，其中，图（a）为外部支承结构，图（b）为内外支承结构。图 4-19 所示为无心柱缩口模示意图。

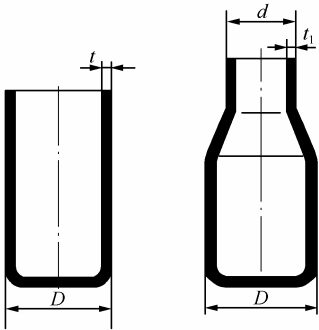


图 4-17 空心件的缩口

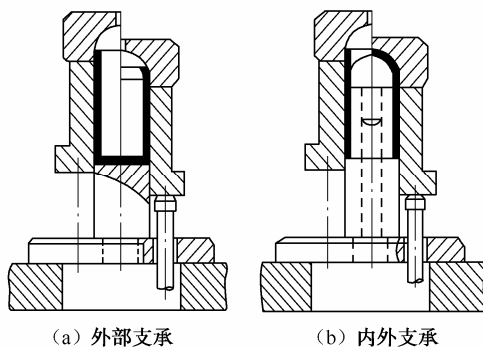


图 4-18 有支承的缩口模

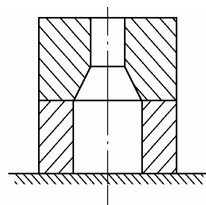


图 4-19 无心柱缩口模示意图

4.5.2 缩口后材料厚度的计算

缩口时颈口略有增厚，可以忽略。颈口厚度可按下式进行较精确计算：

$$t_1 = t_0 (D/d_1)^{1/2}$$

$$t_n = t_{n-1} (d_{n-1}/d_n)^{1/2}$$

式中 t_0 ——坯料厚度；

t_1 、 \dots 、 t_n ——首次及以后各次缩口后的口部料厚。

其他符号意义同前。

经缩口的工件，其回弹值一般比缩口模基本尺寸大 0.5%~0.8%。

4.5.3 缩口的坯料计算

根据变形前后体积不变的原则来计算坯料尺寸，如图 4-20~图 4-22 所示。

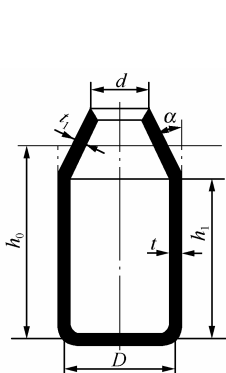


图 4-20 缩口形式（之一）

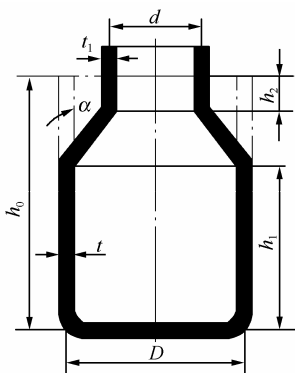


图 4-21 缩口形式（之二）

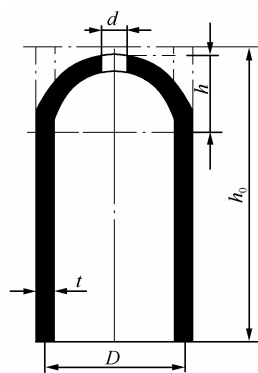


图 4-22 缩口形式（之三）

如图 4-20 所示：

$$h_0 = 1.05 \{ h_1 + [D^2 - d^2] / 8D \sin \alpha [1 + (D/d)^{1/2}] \}$$

如图 4-21 所示：

$$h_0 = 1.05 \{ h_1 + h(D/d)^{1/2} + [D^2 - d^2] / 8D \sin \alpha [1 + (D/d)^{1/2}] \}$$

$$h = h_0 - h_1$$

如图 4-22 所示：

$$h_0 = h_1 + 0.25[1 + (D/d)^{1/2}](D^2 - d^2)^{1/2}$$

式中, h_1 为圆柱高度。

4.5.4 缩口力 F 的计算

如图 4-17 所示, 缩口力 F 按下式计算:

$$F = K\{1.1\pi Dt\sigma_s[1 - (d/D)](1 + \mu \tan \alpha) / \cos \alpha\}$$

式中 F ——缩口力;

t ——坯料厚度 (按厚度不变计);

D ——坯料直径 (按中心层计);

d ——缩口部分直径 (按中心层计);

μ ——凹模与坯料接触面的摩擦系数;

σ_s ——假定的材料屈服点, $\sigma_s = \sigma_b$;

σ_b ——抗拉强度;

α ——凹模的半圆锥角度;

K ——速度系数, 在曲柄压力机上工作时 $K=1.15$ 。

4.6 旋压成形工艺与模具设计技巧

4.6.1 旋压成形工艺

旋压是将板料或空心坯料固定在旋压机上 (或经改装后的车床上), 在坯料转动的同时, 用工具即模具 (赶棒或旋轮) 通过机械或液压传动, 挤压坯料使其逐渐成形, 如图 4-23 所示; 当采用旋压的单位挤压力达 2500~3500 MPa 时, 可使毛坯厚度产生预定的变薄, 完成工件成形, 如图 4-24 所示, 称之为变薄旋压或强力旋压。

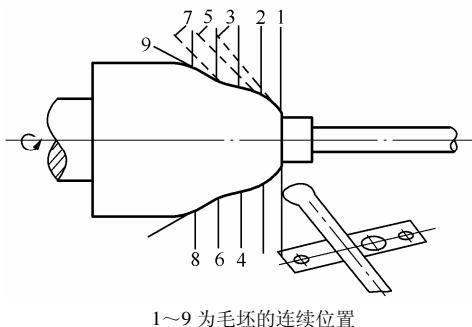


图 4-23 用圆头赶棒作为工具的旋压示意图

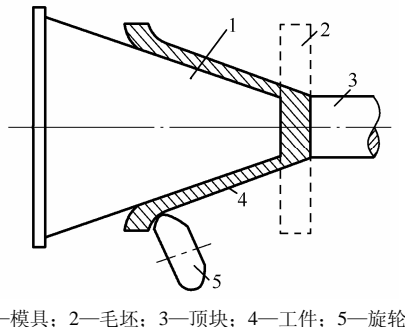


图 4-24 变薄旋压示意图

4.6.2 旋压的模具设计

1. 不变薄旋压

坯料切向收缩, 径向伸长。在旋压过程中, 赶棒与坯料基本上为点接触, 坯料在赶棒的作用下, 既产生局部的凹陷而发生塑性流动, 同时又会沿旋压力的方向倒伏。当转速增加到一定值后, 倒伏来不及完成, 坯料的塑性流动趋向稳定, 如转速过高, 易使材料过分旋薄。

表 4-8 为铝合金旋压时的主轴转速, 对于软钢可取 400~600 r/min, 铜为 600~800 r/min, 黄铜为 800~1100 r/min。

表 4-8 旋压机主轴转速 (铝合金)

料厚 (mm)	毛坯外径 (mm)	加工温度 (℃)	转数 (r/min)
1.0~1.5	<300	室 温	600~1200
1.5~3.0	300~600	室 温	400~750
3.0~5.0	600~900	室 温	250~600
5.0~10.0	900~1800	200	50~250

旋压锥体成形的极限值:

$$d_{\min}/D=0.2\sim0.3$$

式中 d_{\min} ——圆锥体的最小直径;

D ——坯料直径。

旋压筒形件的比值, 根据毛坯的相对厚度, 一般为:

$$d/D=0.6\sim0.8$$

式中 d ——圆筒直径;

D ——坯料直径。

如果工件不能在一道工序中完成, 应采用连续几道工序并分别用不同的胎模, 但这些胎模的最小直径应相同, 如图 4-25 所示。

旋压过程中材料的硬化程度比在压力机上拉深时大得多, 故经旋压几次后要进行中间退火。

旋压成形可以完成旋转体工件的拉深、翻边、缩口、胀形、弯边、叠缝等不同工序, 如图 4-26 所示。

旋压加工的材料除钢、铜、铝以外, 还有钛、锆、钨、钼等, 并能改善工件材料的力学性能。各种旋轮的形状如图 4-27 所示。旋压件的加工精度一般相当于直径的 1/10 000~2/10 000。旋轮的主要尺寸见表 4-9。

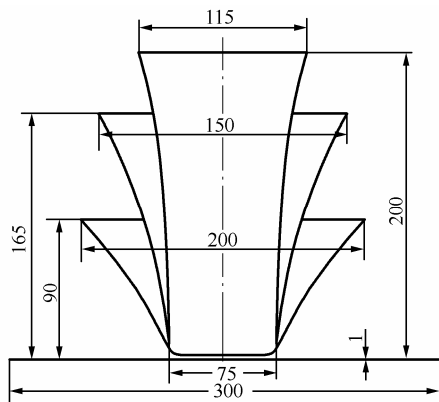


图 4-25 连续多工序旋压

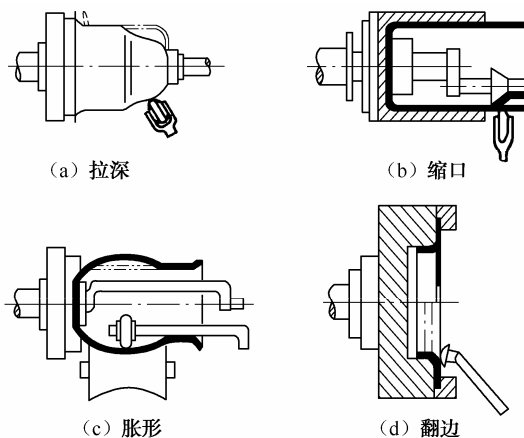
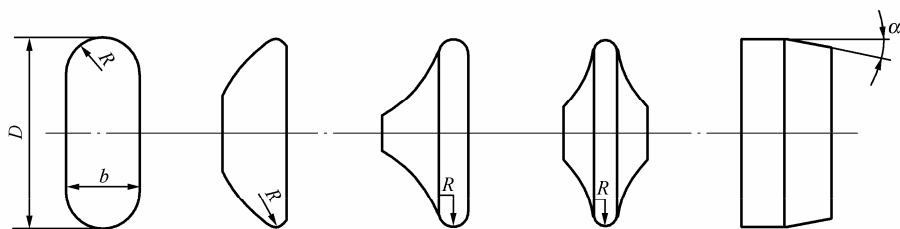


图 4-26 各种旋压成形方法



(a) 施压空心件用 (b) 变薄旋压用 (c) 缩口、滚波纹管用 (d) 精加工用 (e) 精加工用

图 4-27 旋轮的形状

2. 变薄旋压（强力旋压）

坯料的外径始终保持不变，坯料中任意一点的径向位置在变形前后保持不变，因此材料没有切向收缩。

旋压前后坯料厚度的关系为（如图 4-28 所示）：

$$t = t_0 \sin \alpha$$

此公式称为壁厚变化的正弦律，在制定工艺和调整机床时都必须遵循。例如，旋压半球形或抛物线形工件，坯料可用等断面的（厚度均匀），也可用变断面的（厚度各点变化）。等断面坯料旋压后所得工件的壁厚是不相等的，如图 4-29 所示。下面举两个用变断面坯料进行旋压的例子。

表 4-9 旋轮的主要尺寸

(mm)

旋轮直径 D	旋轮宽度 b (旋压空心件用)	旋轮圆角半径 R				
		a	b	c	d	e (α°)
140	45	22.5	6	5	6	4 (2)
160	47	23.5	8	6	10	4 (2)
180	47	23.5	8	8	10	4 (2)
200	47	23.5	10	10	12	4 (2)
220	52	26	10	10	12	4 (2)
250	62	31	10	10	12	4 (2)

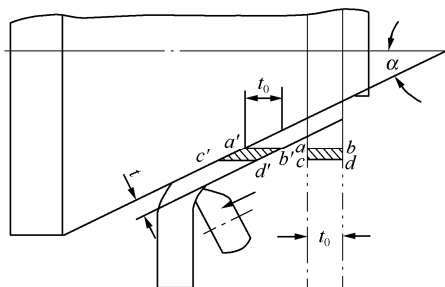


图 4-28 变薄旋压原理图

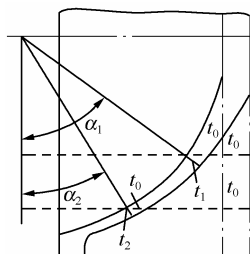


图 4-29 用等断面坯料旋压半球形工件

例 4-1 如图 4-30 所示。制造直径为 1500 mm、厚度为 4 mm 的半球形壳体，求出变断面坯料的形状和尺寸。

解：从变薄旋压的几何关系可得

$$t = t_0 \sin \alpha$$

$$r = R \cos \alpha$$

旋压时坯料各点的压缩程度不同，但一般不大于 50%，故本例最大坯料厚度 $t_0 = t/0.5 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$ ，该厚度与 30° 角上的点对应。为了保持边缘各部位压缩量不超过 50%，坯料边缘应折弯，其断面亦应相等，使形成的半球壳的周边有足够的金属。图 4-30 所示仅取几点，实际计算时可取得多些。

例 4-2 旋压等壁厚的抛物线形壳体，求坯料形状和尺寸。

解：坯料尺寸为（如图 4-31 所示）

$$t_0 = t(x/p + 1)^{1/2}$$

式中 p ——抛物线焦点到坐标原点的距离；

x ——抛物线工件的 x 坐标。

取不同的 x 值后，纵坐标 y 值按下式计算：

$$y = 2p(x/p)^{1/2}$$

图 4-31 所示为直径 2000 mm、高 1000 mm、厚 20 mm 的抛物线形制件， $p = 250 \text{ mm}$ 。图 中所列仅为坯料的六个断面（ $x = 25 \text{ mm}$ 、125 mm、250 mm、500 mm、750 mm、1000 mm），实际计算时可取更多的点。同样，坯料形状也可预先折弯边缘。

变薄旋压的坯料有板材、冲压成形的杯形件，或经过车削的锻件、铸件、焊接件和管材。

旋压材料厚度的最大变薄率为 Q_{\max} ， Q_{\max} 按下式确定：

$$Q_{\max} = (t - t_{\min})/t$$

式中 t ——坯料厚度；

t_{\min} ——工件的最小厚度。

变薄旋压时各种金属的最大变薄率见表 4-10。

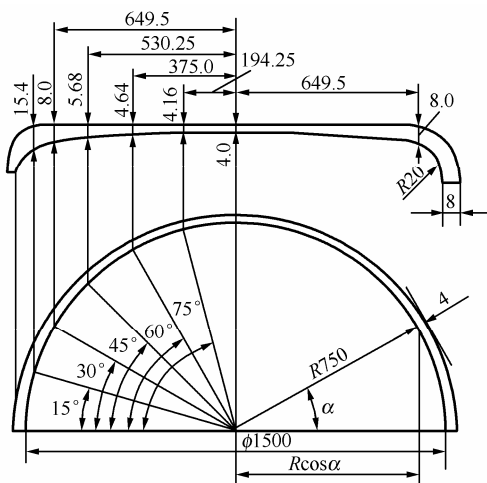


图 4-30 旋压等厚半球形壳体所用
变断面坯料的计算实例

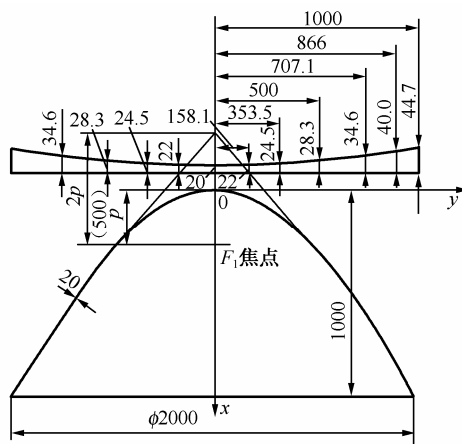


图 4-31 旋压等厚抛物线形壳体所
用变断面坯料计算实例

表 4-10 旋压最大变薄率（无中间退火）

（%）

材 料	圆 锥 形	半 球 形	圆 筒 形
不 锈 钢	60~75	45~50	65~75
高合金钢	65~75	50	75~82
铝 合 金	50~75	35~50	70~75
钛合金 ^①	30~55	—	30~35

① 钛合金为加热旋压。

变薄旋压工艺规范如下。

- ① 最大材料厚度：20 mm。
- ② 对于不锈钢的最大锥角：30°。
- ③ 最大速度：300 m/min。
- ④ 进给量：0.012~2.0 mm/r。
- ⑤ 润滑剂采用胶态锌的悬浊液或对坯料进行磷化处理。滚轮采用冷却方式。

4.7 校平和整形成形工艺与模具设计技巧

4.7.1 校平和整形的判断

冷冲压中的校平和整形工艺作用有两个（如图 4-32 和图 4-33 所示）：一是对不平或翘曲的面加以压平；二是把弯曲件或拉深件校正成所要求的形状和尺寸。漏料的冲裁件都不够平直，当平面度、直线度要求较高时，需要增加校平工序。但对极薄的冲压件，要得到很高的平面度或尺寸精度仍非常困难。

1. 整形

当弯曲件受回弹影响，拉深和翻边制件受凸模或凹模圆角半径的限制，不能达到较小的圆角半径时，可使用整形模使其达到较准确的尺寸和形状。

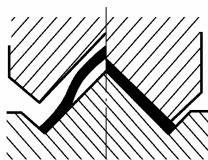


图 4-32 弯曲件的整形兼边部精压

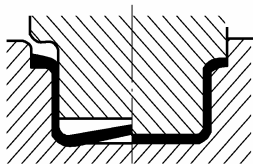
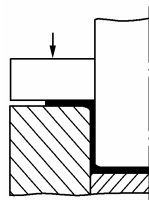


图 4-33 拉深件的整形兼角部精压



2. 校平

用于板状冲裁件的校平模有两种，即平面校平模与带齿校平模。

（1）平面校平模。材料较薄，表面不允许有齿痕的工件，应使用平面校平模。由于平面校平模单位压力较小，校平后仍有相当大的回弹，效果不好，故主要用于平直度要求不高、由软金属制成的小型工件。为消除压力机台面与滑块面平行度误差的影响，通常采用（浮动模柄）浮动凸模或浮动凹模。

(2) 带齿校平模。分细齿和粗齿两种。对于材料较厚 $t=3\sim 15\text{ mm}$ 时, 平直度要求较高且表面上容许有细痕的工件, 用细齿模, 如图 4-34 所示, 齿形用正方形或菱形。用细齿模校平时, 制件表面留有较深的压痕且模齿易磨钝。当不允许有深痕时, 用粗齿校平模, 即把齿顶做成具有一定的宽度。它主要用于材料厚度较小和由铝、青铜、黄铜制成的工件。用带齿校平模校平有孔工件时, 应注意在模具上对应孔的周围要去掉齿形, 以免压坏孔口。

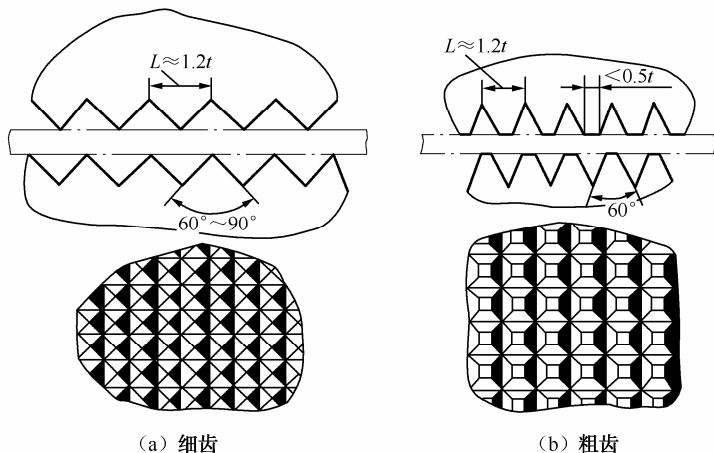


图 4-34 校平模齿

4.7.2 模具校平的压力计算

模具校平的压力:

$$F=Ap$$

式中 F ——校平力;

A ——工件的校平面积;

p ——单位压力。

对于软钢和黄铜:

- ① 平面模上校平, $p=80\sim 100\text{ MPa}$ 。
- ② 细齿模上校平, $p=100\sim 200\text{ MPa}$ 。
- ③ 粗齿模上校平, $p=200\sim 300\text{ MPa}$ 。

在大批量生产中, 厚板工件可成叠地在液压机上校平。压力不随每叠数量而变化, 并经长时间保压, 不大的平板工件也可用滚轮校平。

4.8 成形模的零件设计技巧

4.8.1 凸、凹模设计

1. 凸、凹模尺寸标准

拉深凸、凹模尺寸标准如图 4-35 所示, 深度拉深成形模如图 4-36 所示。

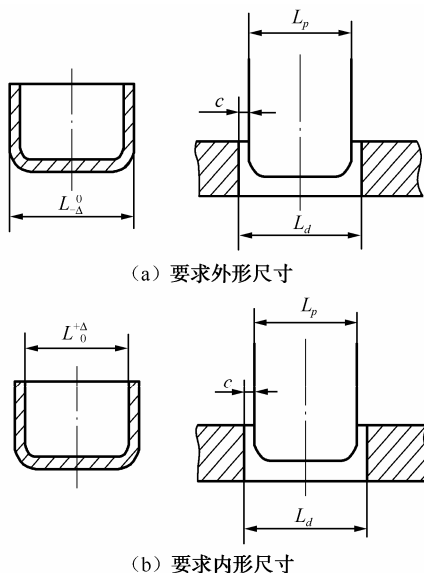


图 4-35 拉深凸、凹模尺寸标准

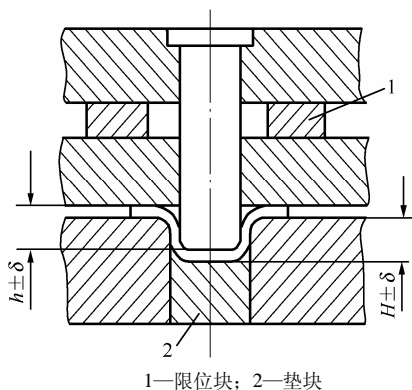


图 4-36 深度拉深成形模

2. 凸、凹模间隙设计技巧

(1) 零件实际成形壁厚。对于伸长类成形，如胀形、小孔翻边等，其变形区壁厚减薄。小孔翻边的最小壁厚为：

$$t_{\min} = (d_i/d_m)^{1/2} t_0$$

式中 d_i ——预制孔直径；

d_m ——成形中性层直径；

t_0 ——毛坯原厚度。

(2) 实际成形形状。当拉深间隙较大时零件成形后壁不垂直。这是由于材料经历了一个直—弯曲—直的过程，由材料的弹性恢复造成壁不垂直。当采用较大的压边力时会形成较直的壁（如图 4-37 所示）。

因此，较大间隙时，零件形状、尺寸精度不佳，但对模具磨损较小，零件表面也无严重划痕。反之，采用小间隙甚至小于料厚的间隙（变薄拉深）时，摩擦加剧，但可获得精度较高的形状。

(3) 各类成形的凸、凹模间隙。对于形状及尺寸精度要求不高的或非最终拉深模，凸、凹模间隙可按板料最大厚度或略大于最大厚度取。

对于形状及尺寸精度高的最后一次拉深模、无压边圈拉深模或其他成形模，间隙值可按实际最大壁厚或略大于、小于实际最大壁厚选取。

对于非旋转体成形，直线部分间隙按弯曲间隙处理，曲线部分按拉深或胀形间隙处理，相接部分其间隙值按过渡部分处理（可参考非旋转体成形凸、凹模圆角取值有关部分）。

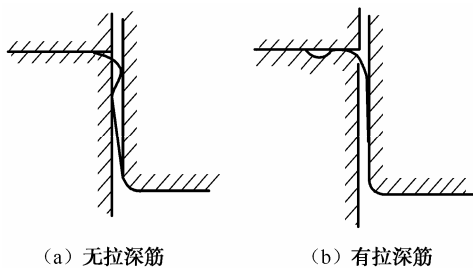


图 4-37 拉深时侧壁形状

3. 凸、凹模圆角取值

凸、凹模圆角是成形模具设计中很重要的设计参数。平底凸模拉深凸、凹模圆角对应的毛坯处变形很剧烈,该处材料受剧烈拉深、弯曲,减薄最甚;平底胀形则是 r_p 处材料减薄最甚,很容易破裂。 r_d 越小,变形越激烈,变形阻力越大; r_p 越小,变形越集中。所以, r_p 、 r_d 值不宜过小。

(1) 拉深模的凸、凹模圆角取值。拉深模凸、凹模圆角取值与材料性能(变形能力)、变形阻力有关。前者取决于材料的延伸率、屈强比、厚向异性指数,后者取决于材料的硬化指数 n 值,变形程度 $(D_0-d)/d$,也与材料的相对厚度有关。因为相对厚度越小,拉深过程中越易产生压缩性失稳,越需要加大压边力,所以变形阻力越大。根据以上考虑, r_p 、 r_d 值可按下述方式选取:

① 从避免弯曲破裂考虑, $r_d \geq 2t_0$ 。

② 从减小变形阻力考虑, $r_d \geq (4 \sim 6)t_0$ 。对有凸缘圆筒拉深 r_d 可大到 $(10 \sim 20)t_0$,超过此值该圆角处材料可能产生褶皱;对无凸缘拉深, r_d 应尽量取得小些,否则圆筒口部可能产生褶皱(因为凸缘外部收缩至圆角处时脱离了压边);对于锥形或球形拉深, $r_d \geq 2t_0$ 。

(2) 胀形模的凸、凹模圆角取值。凸、凹模圆角值的大小决定了成形极限:当 $r < 3t_0$ 时易产生弯曲破裂; r 值越大,成形时的变形区越大,极限成形深度 h_{\max} 越大。对于一次完成不了的胀形,可采用较大的 r 胀形,后经整形或退火再次胀形,直至达到所要求的形状。

(3) 平底扩孔或翻边凸、凹模圆角取值。此类变形最剧烈处位于孔的边缘,因此 r_d 值可不受限制,按工件要求确定。对小孔翻边来说, r_p 值越大,变形速度越低,越有利于提高成形极限;对于平底凸模扩孔来说, r_p 值可按工件要求确定。

(4) 非旋转体成形凸、凹模圆角取值。可将非旋转体成形件分解为不完全的旋转体、非圆弧曲线及直线部分。其直线部分按弯曲件处理,不完全的旋转体部分按旋转体成形取 r 值;非圆弧曲线部分(如椭圆)按相应曲率的圆弧处理。其成形特点与旋转体相比,直线与曲线相接处将存在成形分散、过渡,较弯曲成形困难,较旋转体成形成容易,但因材料的流入速度不同而对压边有较严格的要求。所以, r_d 值不宜过大, r_p 值亦可适当减小。

4.8.2 压边装置设计

在冲裁模中压边装置主要起卸料作用。而在成形模中,压边装置(卸料板)主要起压边作用,足够的压边力会避免工件产生褶皱、扭曲、凹陷、松弛、波纹等缺陷。引起这种额外变形的原因是坯料在成形过程中的径向伸长和切向收缩引发的压缩性失稳。当材料径向伸长造成的切向收缩不足以抵消材料向中心位移产生的多余材料时,当工件同一或不同母线上各处材料伸长不均匀而导致切向收缩不均匀时,切向收缩不足之处都会产生上述缺陷,可能发生在凸缘上,也可能发生在凹模圆角处(当圆角过大时)或侧壁及底部(非垂直壁或非旋转体)。以上情况会出现在各种压缩类和复合类成形中,也会出现在某些伸长类成形中,如在非旋转体的胀形及小孔翻边时,由于侧壁被挤压而产生材料的反向流动造成零件不平整,小孔直壁根部 R 加大(如果采用强力压边则会取得较好效果)。在大凸缘多次拉深中,强力压边会对工件根部起一定的校平作用。

1. 旋转体拉深模压边圈的结构与选用技巧

(1) 杯形件压边

拉深时其凸缘是否起皱与材料的相对厚度、拉深比、凹模口形状、毛坯材料性能、拉深

时的润滑条件等有关。

a. 不用压边的条件。

当拉深比较小，相对厚度较大时可不采用压边，其计算如下式：

$$t/D_0 \geq 0.05(1-m)$$

该式亦可用于以后各次拉深（ D_0 改为前道工序的平均直径）。

采用锥形、渐开线形、椭圆形、拉曳形凹模均有利于改善压边条件。表 4-11 给出了锥形凹模不用压边的条件，其他形凹模数值可更小。

表 4-11 锥形凹模不用压边的条件

d_2/d_1	$t/D_0 \times 100$				
	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
0.6	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58
0.7	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66
0.8	0.66	0.68	0.70	0.72	0.75

b. 必须用压边的条件。

首次拉深： $t/D_0 \times 100 < 1.5$

以后各次拉深： $t/d_{n-1} \times 100 < 1$

c. 压边力计算。

压边力过小会起皱，过大会破裂，压边力来源于模具的弹性装置、附加汽油缸或双动冲床的外滑块。

d. 压边圈结构。

首次拉深模均采用平面压边圈，后续拉深模按前次拉深形状设置压边圈。

当 $t/D \times 100 < 0.3$ 且有小凸缘和很大圆角半径时，应采用弧面压边圈，如图 4-38 所示。

带限位装置的活动压边圈如图 4-39 所示。

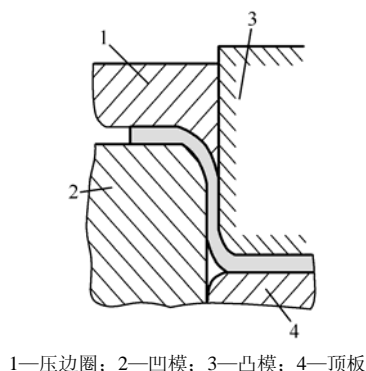


图 4-38 弧面压边圈

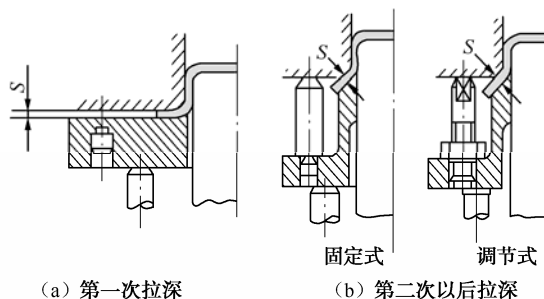


图 4-39 带限位装置的活动压边圈

通过理论分析和实验可知，所需最大压边力应在拉深途中出现。而采用的压边装置通常提供均匀的压边力（汽油缸等）或逐渐增加的压边力（弹性装置），后者是在拉深结束时提供最大压边力。为了在整个拉深过程中提供均衡的压边力或为了防止压边圈将毛坯夹得过紧（特别是拉深材料较薄且有较宽凸缘的工件）可采用带限位装置的压边圈。

图 4-39 所示间隙 S 值根据工件与材料的不同可取下述值:

拉深带凸缘的工件时, $S=t+(0.05\sim 0.1)t$

拉深铝合金工件时, $S=1.1t$

拉深钢制工件时, $S=1.2t$

(2) 锥形件压边

不用压边的条件, 当采用前述无压边圈锥形凹模拉深时可不用压边。对于 $t/d\geq 2.5\%$ 、 $h/d=0.3\sim 0.7$ 、圆锥角为 $30^\circ\sim 90^\circ$ 者可不用压边, 其他锥形拉深都应采用压边。制件无凸缘时应先带凸缘拉深, 然后切掉凸缘。对于相对厚度较厚的锥形拉深件可用压边圈施加压边力; 当相对厚度较薄时必须增加压边力以加大斜面上的拉力, 防止锥面起皱。方法有加大毛坯尺寸, 用 $5^\circ\sim 10^\circ$ 的反锥度或用全圆周上的拉深筋来增加拉力。

(3) 曲面零件拉深压边

不用压边的条件: 当毛坯的相对厚度较大($t/D\times 100>3$)时可不用压边, 一次拉深成形。当 $t/D\times 100<3$ 时, 必须采用压边。曲面零件拉深过程中, 除凸缘部分易产生褶皱外, 在拉深后期, 其侧壁靠近凹模口处也可能产生褶皱, 因此, 必须采用压边。最小单位压边力按表 4-12 (当 $K>1.8$ 时不会产生侧壁褶皱) 计算。

表 4-12 最小单位压边力

$\frac{D_0}{d}$	$t/D_0\times 100$	
	0.3~0.6	0.6~1.3
1.5	5~6	3~4
1.6	3.5~4.5	1.7~2.2
1.7	1.5~3	1~1.5
1.8	0.7~1.5	1~1.2

综上所述, 曲面零件拉深确定压边力时应综合考虑凸缘、侧壁的起皱及毛坯底部的破裂。

2. 非旋转体拉深模压边装置

对于非旋转体拉深模, 其直线部分按弯曲处理, 曲线部分内凹段按胀形处理, 外凸段按拉深处理。其压边结构一般均需设置拉深筋(槛)。

3. 其他压缩类成形模的压边装置

图 4-40 所示为压边装置, 压缩类外缘翻边可参考拉深压边处理, 缩口模通常采用固定间隙控制变形区褶皱和承力区褶皱。

4. 伸长类外缘翻边及小孔翻边压边装置

该类翻边会产生如图 4-40 所示凹模处的向上隆起, 采用强力压边或校形会起到较好效果。其装置为带限位块可进行镦压校形的压板。对于窄凸缘翻边件应注意压边, 防止凸缘收缩。

5. 胀形及起伏成形压边装置

平板胀形及起伏成形本质上是以伸长变形为主的局部成形, 其外缘尺寸一般不发生变化。但在靠近凹模口附近的材料仍有径向伸长(为主)、切向收缩(为辅), 并伴有厚度变薄的变形。在非旋转体胀形起伏成形中, 也会由于材料流入不均产生横向应力松弛现象。这些都会造成工件在凸缘或侧壁上出现皱褶, 因而需要足够的压边力。

上述压边力可通过平面压边圈或拉深筋来实现,后者可有效地防止变形面波及过大并减小工艺凸缘的尺寸。亦可通过工艺切口来降低某部分的伸长量。

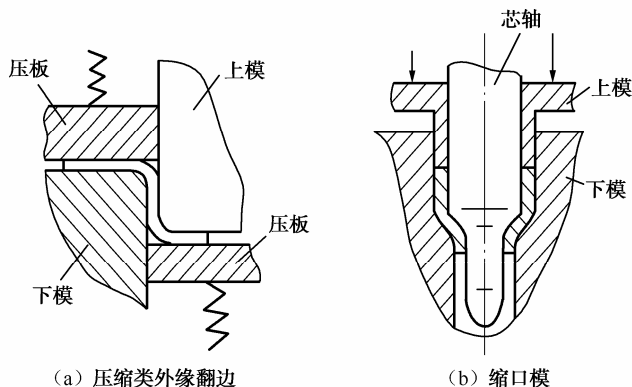


图 4-40 压边装置

4.9 成形模设计程序技巧

对于常见的中、小型成形件来说,其模具结构及参数的设计、计算并无太复杂之处,其难点在于成形工序的设计和成形缺陷的消除。作为模具设计人员,对于上述问题应给予足够的重视。本节将结合成形模具的一般设计程序给予必要的介绍,其细节可查阅有关资料。成形模具的一般设计程序是收到工件图后应首先消化产品图,了解该工件在产品中的作用及装配关系,了解关键尺寸、技术要求,进而分析工件的工艺性,看能否做必要的改动,以便减少成形工序,提高工件质量,工件图确定以后便应着手进行工序检查,找出最合理的工艺路线和工序尺寸,进而确定模具尺寸和压力机床,其步骤一般如下所述。

4.9.1 毛坯尺寸计算

1. 拉深件毛坯尺寸计算

在不变薄拉深中,工件材料厚度虽有变化,但其平均值与原始厚度十分接近。因此,可用等面积原则,即毛坯面积等于拉深件面积来计算毛坯尺寸(计算前应在工件上加必要的修边余量)。

(1) 旋转体拉深件毛坯半径计算

计算公式为:

$$R_0 = 2(\sum xl + \sum \pm rh)$$

式中 R_0 ——毛坯半径;

l ——线段长度;

x ——直线段的中心或圆弧中心到旋转轴距离;

r ——圆弧中性层半径;

h ——圆弧在旋转轴上的投影;

\pm ——当弧心在工件内时取正,当弧心在工件外时取负。

(2) 非旋转体拉深件毛坯尺寸确定

非旋转体拉深件毛坯尺寸的确定原则基本上是将工件各部分分为圆弧、直线和非圆曲线。圆弧部分按旋转体拉深件计算毛坯尺寸；直线部分按弯曲计算展开长度；非圆曲线则可分为相等的间隔点，沿该点分别作法线并作外轮廓线，使两条法线间所围面积等于该段工件面积。非旋转体拉深件毛坯按上述原则做出后应加以修正。因为，各连接部分在成形过程中会发生材料的转移。因而，为保证成形后工件各处高度基本一致要加以修正，使其外轮廓光滑过渡。具体方法可参看有关资料。

2. 压缩类翻边毛坯尺寸计算

可将压缩类翻边视为一不完整的拉深来计算毛坯尺寸。

3. 缩口毛坯尺寸计算

应利用毛坯变形前后体积不变原则计算毛坯尺寸。其计算方法见下式：

$$V=2\pi(\sum xlt+\sum \pm rht)$$

4. 小孔翻边、旋转体胀形毛坯尺寸计算

其他旋转类成形也应利用体积不变原则来计算毛坯尺寸。对于平底凸模的纯胀形，毛坯外缘尺寸不变，可不计算毛坯尺寸；而对于筒状毛坯的凸肚等胀形会使毛坯长度缩短，必要时应进行毛坯长度计算。

平均材料厚度的计算方法：毛坯非变形区平均厚度可视为等于毛坯原始厚度。毛坯变形区平均厚度可取变形区最厚（或最薄）处与毛坯原始厚度的平均值。

4.9.2 成形极限与成形系数计算

1. 成形极限、成形系数的概念

(1) 压缩类成形

压缩类成形的破坏形式主要是由压缩性失稳造成的变形区起皱（如缩口、压缩类翻边的褶皱），可以施加适当的压边力来消除和防止褶皱。但对于容易起皱的拉深件施加压边力的结果是加大了毛坯成形时的阻力。如果承力区的毛坯材料强度不足以承受这种成形力，就会发生破裂（称为 α 破裂）。对于上述成形，通常用成形前后的尺寸比值来表示变形程度（如拉深比 $K=D/d$ ），极限变形程度称为成形极限（如拉深成形极限，用 $[K]$ 代表），其倒数为极限成形系数 $[m]$ 。拉深比公式中的 D 与 d 值在不同成形中的意义不同，现说明如下。

圆筒拉深， D 与 d 分别为毛坯直径和第一次拉深筒的中性层直径。在后续拉深中两者分别为前后两次拉深筒的中性层直径。

矩形盒拉深， D 与 d 分别为转角处毛坯直径和第一次拉深转角处中性层直径。

垂直壁椭圆或其他形拉深， D 与 d 分别为曲率最大处毛坯直径与第一次拉深曲率最大处中性层直径。

锥形拉深， D 与 d 分别为毛坯直径与锥形中性层平均直径。

以上归于压缩类的复合成形。

缩口， D 与 d 分别为毛坯中性层直径与缩口后最小端中性层直径。

压缩类翻边， D 与 d 分别为毛坯直径与翻边后的中性层直径。

上述说明中其成形如果是第二次或以后各次，则 D 与 d 分别代表前次和后次的直径。

对于圆锥、方锥台拉深，常用极限成形深度表示。

(2) 伸长类成形

伸长类成形的破坏形式主要是由于材料的延伸率不足而造成的 β 破裂, 如伸长类翻边、扩口、扩孔、凸肚, 平板的圆筒、锥台及各种复杂曲面胀形等。当其各部分材料伸长不均匀时, 常伴有起皱、翘曲等缺陷。

对于 β 破裂的成形, 常用其变形前后的相对伸长与材料延伸率之比来衡量成形极限。

在实际成形中, 变形材料往往处于双向拉伸状态, 从而获得更大的变形。通过成形极限图可以测得各种材料在不同应变状态下的破裂极限。据此, 可运用网格技术, 对复杂成形件进行应变分析, 从而采取针对性措施, 充分利用材料的变形性能, 使生产过程处于稳定和正常状态。在工艺设计过程中, 对于不适用单向拉伸的变形, 更多使用依靠经验获得的极限成形深度。

2. 各类成形的成形极限确定技巧

(1) 杯形件拉深成形极限

平底杯形件的极限成形系数见表 4-13~表 4-15。它是在规定的压边力和模具圆角半径条件下获得的经验数据。球底杯形件存在侧壁起皱倾向, 因此对成形条件有更严格的要求。需更深入地考虑压边力、模具圆角半径、摩擦材料成形指数、硬化等条件, 如果控制得好, 可以获得比平底杯形件更大的变形。

表 4-13 无凸缘杯形件有压边成形系数 $[m]$

拉 深 系 数	毛坯相对厚度 $\frac{t}{D} \times 100$					
	2~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.08
$[m_1]$	0.48~0.50	0.50~0.53	0.53~0.55	0.55~0.58	0.58~0.60	0.60~0.63
$[m_2]$	0.73~0.75	0.75~0.76	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.82
$[m_3]$	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.84
$[m_4]$	0.78~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.83	0.83~0.85	0.85~0.86
$[m_5]$	0.80~0.82	0.82~0.84	0.84~0.85	0.85~0.86	0.86~0.87	0.87~0.88

表 4-14 无凸缘杯形件无压边成形系数 $[m]$

毛坯相对厚度 $\frac{t}{D} \times 100$	各次拉深系数					
	$[m_1]$	$[m_2]$	$[m_3]$	$[m_4]$	$[m_5]$	$[m_6]$
0.4	0.90	0.92	—	—	—	—
0.6	0.85	0.90	—	—	—	—
0.8	0.80	0.88	—	—	—	—
1.0	0.75	0.85	0.90	—	—	—
1.5	0.65	0.80	0.84	0.87	0.90	—
2.0	0.60	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
2.5	0.55	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
3.0	0.53	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
3 以上	0.50	0.70	0.75	0.78	0.82	0.85

表 4-15 无凸缘杯形件成形系数 $[h/d]$

拉深次数 (n)	毛坯相对厚度 $\frac{t}{D} \times 100$					
	2~1.5	1.5~1	1~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.08
1	0.94~0.77	0.84~0.65	0.70~0.57	0.62~0.5	0.52~0.45	0.46~0.38
2	1.88~1.54	1.60~1.32	1.36~1.1	1.13~0.94	0.96~0.83	0.9~0.7
3	3.5~2.7	2.8~2.2	2.3~1.8	1.9~1.5	1.6~1.3	1.3~1.1
4	5.6~4.3	4.3~3.5	3.6~2.9	2.9~2.4	2.4~2.0	2.0~1.5
5	8.9~6.6	6.6~5.1	5.2~4.1	4.1~3.3	3.3~2.7	2.7~2.0

(2) 矩形盒拉深成形极限

如前所述，矩形盒变形程度可用矩形转角处毛坯半径和工件半径之比 $K=R_0/R$ 来表示， $[K]$ 值可参照圆筒拉深选取。但由于直边的作用，转角处的变形向直边扩散，使得其成形极限大于相同直径的圆筒拉深。这个影响的大小与转角半径和边长的比值及矩形两边长的比值有关。软钢正方形盒拉深时，转角半径是边长的 1/5 时能拉得最深。当毛坯采用正方形时，最大的拉深高度是边长的 0.9 倍，对把角部整圆的圆角形毛坯，能够拉深到略超过边长的深度，但对铜、铝等加工硬化大的材料，其尺寸的影响不明显。长方形盒拉深的极限深度：当转角半径 R 小于短边长度的 1/5 时，基本不受长边的影响；当转角半径超过短边长度的 1/5 时，极限成形深度比正方形盒大，超过越多，差值越大。

矩形毛坯的切角对盒形件拉深的转角处侧壁破裂的影响很大。在直边不设置拉深筋时，如果切角，转角处毛坯向角部流入较慢，则容易产生破裂。在直边设置拉深筋时，转角处毛坯的流动不再受直边部分材料流动的影响，由于角部材料面积减小而流动阻力减小，因此不易发生侧壁破裂。

(3) 椭圆筒拉深成形极限

椭圆筒拉深的成形极限取决于最小曲率半径。可通过最小曲率半径 r_{\min} 的圆筒拉深来考虑成形极限。由于受到曲率半径较大的邻近处的影响，其成形极限将大于相同圆筒拉深的成形极限。这个影响取决于椭圆短轴 b 与长轴 a 的比值。通常最小曲率半径处的极限凸缘宽度 l_1 是 r_{\min} 的 1~1.3 倍；当椭圆接近圆形时， l_2/r_{\min} 接近 1。毛坯尺寸和椭圆拉深成形极限有很密切的关系。毛坯尺寸过大，造成变形阻力过大， r_p 处破裂；毛坯长宽尺寸比例不适，造成材料流动过分不平衡而形成侧壁破裂。带凸缘椭圆筒拉深时，毛坯尺寸对极限成形高度的影响如图 4-41 所示。

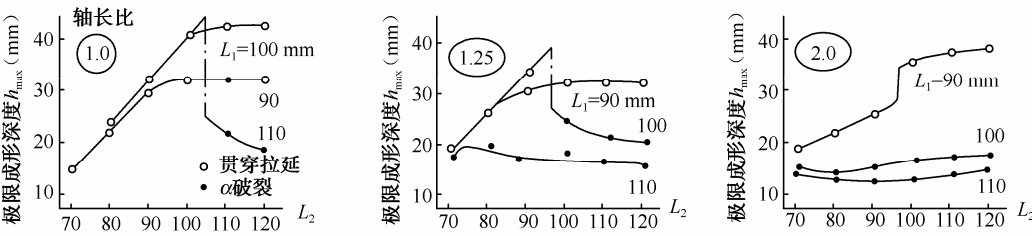


图 4-41 带凸缘椭圆筒拉深时毛坯尺寸对极限成形高度的影响

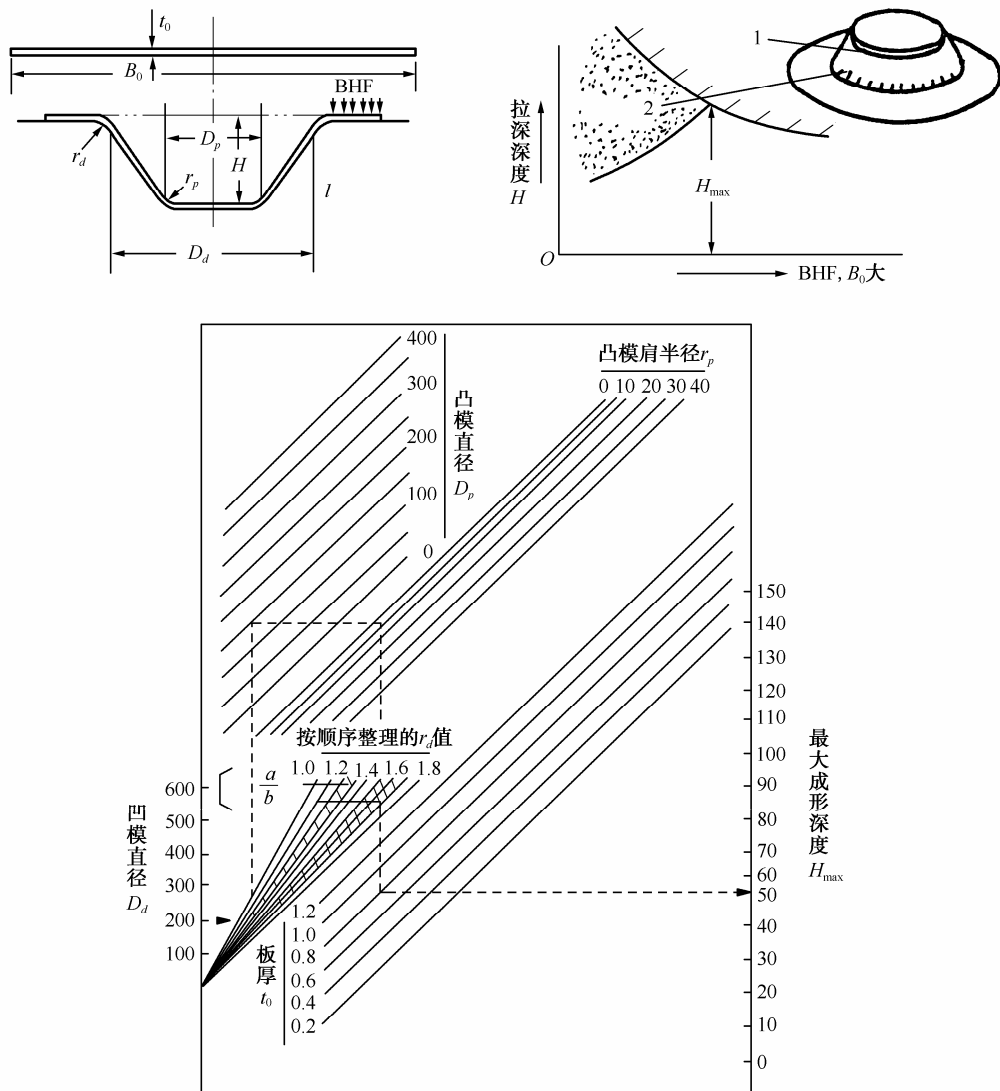
如图 4-41 所示，“轴长比”较小时（接近圆，如为 1 或 1.25），如果短轴方向坯料长度

L_2 接近或超过长轴方向的长度 L_1 时, 长轴方向上能被拉入的坯料就减少, 极限成形高度下降; 当“轴长比”较大时, 长轴方向上的坯料随着 L_2 的增加而被拉入的坯料逐渐增多, 极限成形高度增加。

如果对坯料进行切角, 凸模 r_p 处的破裂较难发生, 但侧壁破裂容易发生。

(4) 圆锥拉深成形极限

圆锥拉深时的极限成形深度与其凸缘变形阻力关系很大。变形阻力过小, 凸缘产生褶皱; 变形阻力过大, 则会在 r_p 处发生破裂, 其极限成形深度如图 4-42 所示。



a —普通沸腾钢; b —铝镇静钢

单位是 mm, 在 $t_0/D_d < 0.002$ 及 $D_p/D_d > 0.5$ 时不适用

1—断裂; 2—薄壁容器拉深皱纹

图 4-42 圆锥拉深时的极限成形深度

(5) 方锥体拉深成形极限

方锥体拉深时的极限成形深度与圆锥体类似，都只有在合适的变形阻力下（压边力和材料变形阻力的综合作用）才能得到既不起皱又不破裂的极限拉深深度，如果难以接近 1/4 圆锥，按图 4-43 和图 4-44 所示方法求。图 4-45 为角部形状对极限成形深度的影响。

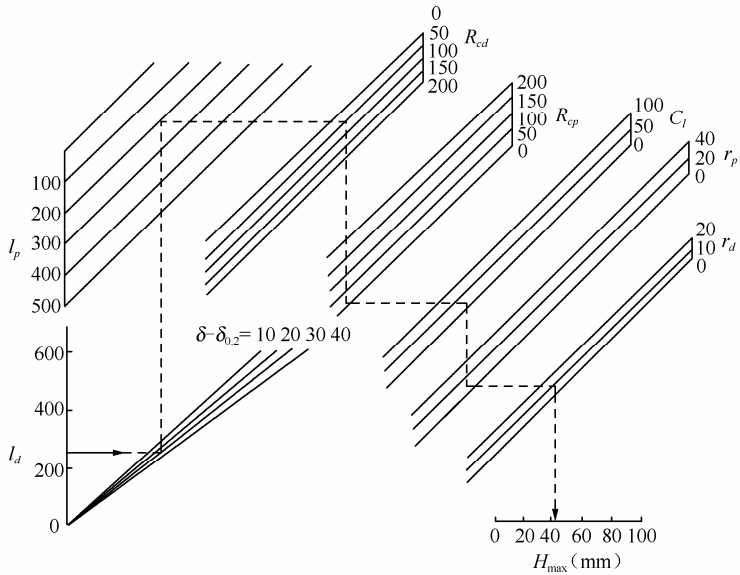
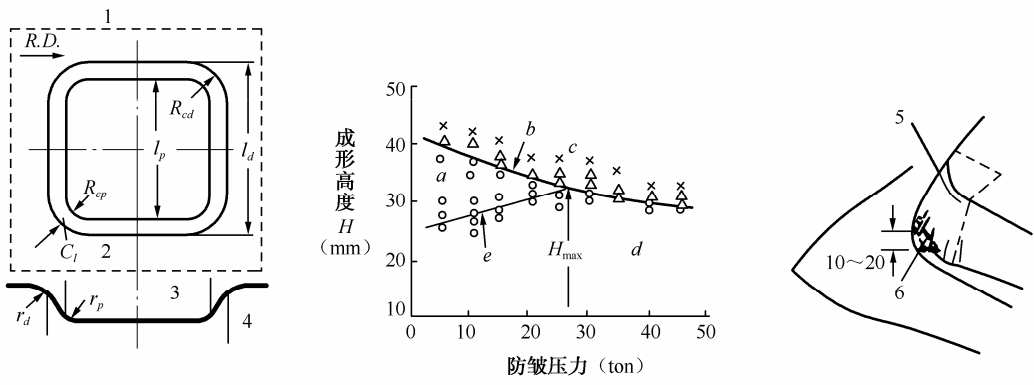


图 4-43 方锥拉深时的极限成形深度



符号说明

符 号	破 裂	起 皱
×	有	—
△	弯颈	—
●	无	有
○	无	无

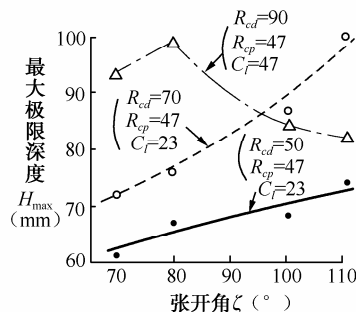
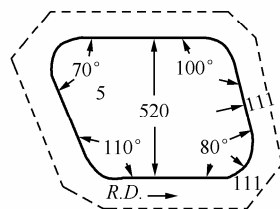
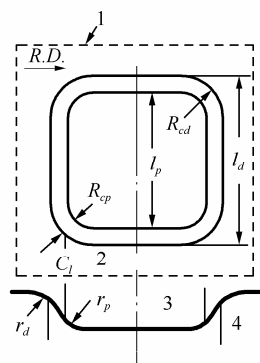
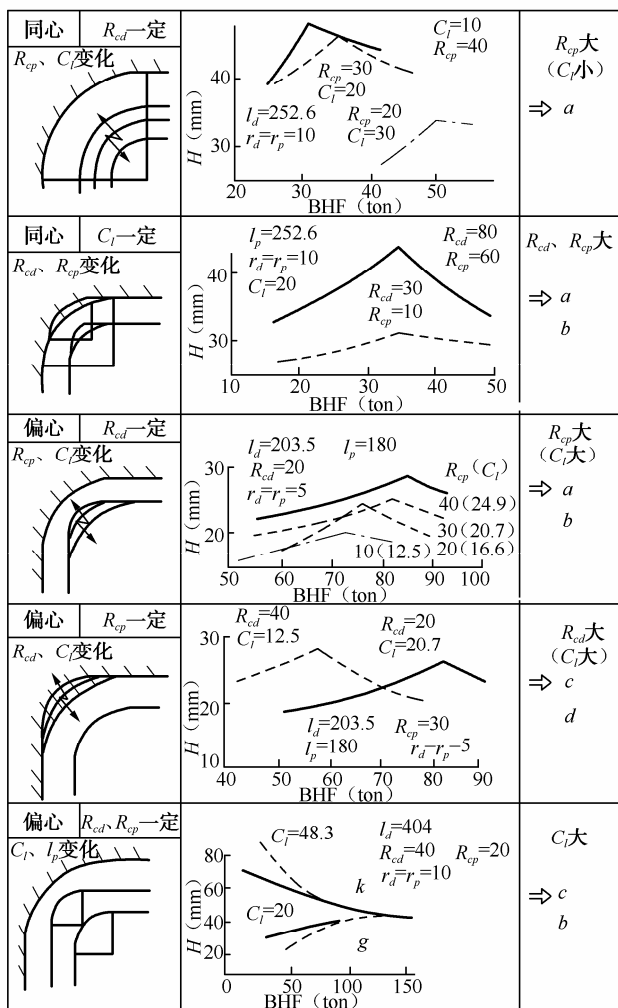
铝镇静钢, $t=0.8\text{mm}$; $1\text{ton}=9.964\text{kN}$

$l_d=252.6$; $l_p=208$; $R_{cd}=30$; $R_{cp}=7.7$; $r_d=5$; $r_p=10$

a —起皱; b —破裂极限; c —破裂; d —合适范围; e —起皱极限

1—板材; 2—角部中心; 3—凸模; 4—凹模; 5—凸模肩破裂; 6—起皱判断位置

图 4-44 求方锥拉深时的极限成形深度方法



铝镇静钢, $t=0.8\text{mm}$; BHF—压边力; $1\text{ton}=9.964\text{kN}$

a —一般情况起皱极限提高; b —断裂极限提高; c —起皱极限提高; d —断裂极限下降; e —起皱极限下降; k —破裂; g —起皱

1—板材; 2—角部中心; 3—凸模; 4—凹模; 5—张开角

图 4-45 角部形状对极限成形深度的影响

(6) 纯胀形的成形极限

椭圆筒形件胀形极限成形深度如图 4-46 所示。

(7) 扩孔的成形极限

图 4-47、表 4-16、表 4-17 分别给出凸模形状、相对底孔直径与扩孔的成形极限关系。

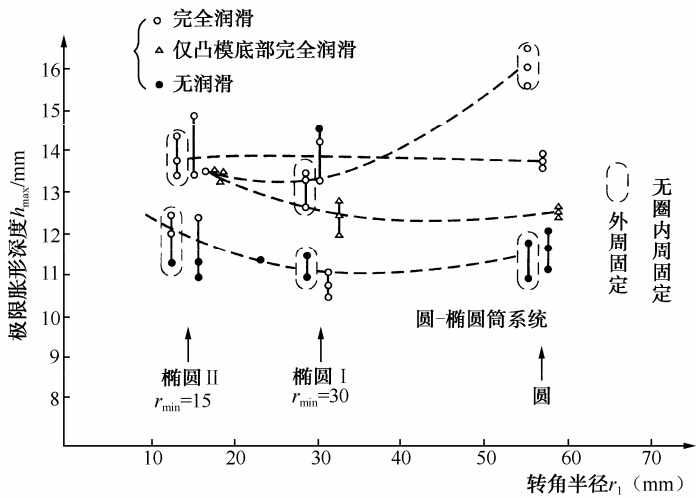


图 4-46 椭圆筒形件胀形极限成形深度

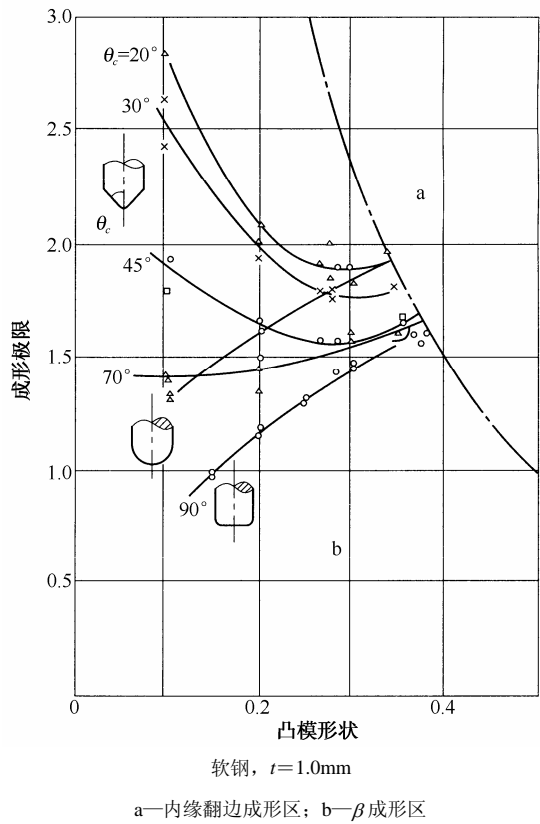


图 4-47 凸模形状与扩孔的成形极限关系

表 4-16 一些材料翻边系数[m]

退火的材料	[m]	[m _{max}]
白铁皮	1.43	1.54
H62, t=0.5~6mm	1.47	1.61
铝, t=0.5~5mm	1.43	1.56
硬铝	1.12	1.25

表 4-17 低碳钢极限翻边系数[m]

翻边 方法	孔加工 方法	比 值 d _i /t										
		100	50	35	20	15	10	8	6.5	5	3	1
球形 凸模	钻后去 毛刺	1.43	1.67	1.92	2.22	2.50	2.78	3.03	3.23	3.33	4.00	5.00
	冲孔	1.33	1.54	1.75	1.92	2.08	2.22	2.27	2.33	2.38	2.38	/
平底 凸模	钻后去 毛刺	1.25	1.43	1.67	2.00	2.22	2.38	2.50	2.70	2.86	2.33	4.00
	冲孔	1.18	1.33	1.54	1.67	1.82	1.92	2.00	2.00	2.08	2.13	/

注：[m] = $\frac{d_m}{d_i} = \lambda + 1$ 。

(8) 缩口成形极限

缩口系数与模具结构关系极大，其破坏形式为变形区起皱和承力区起皱。如果在变形区和承力区采用内外支承或压边装置，将大大提高成形极限。平均缩口系数见表 4-7。

4.9.3 确定成形方式进行工序设计

1. 正确判定成形方式，合理安排工序

在许多冲压件中含有多种冲压工序，可能同时包含落料、冲孔、拉深、扩孔、翻边等工序。在安排冲压工序时，各道工序可能完成一种加工（单工序模）或多种加工（多工序模）。应注意各种冲压加工的先后顺序，以避免产生额外变形。例如，当胀形件凸缘上的孔处于变形区内时，应后冲孔；当拉深件底部中心存在孔时，应校核该孔在拉深过程中是否会产生扩孔，若是，则应减小该孔（孔有利于增加拉深高度）或将冲孔安排在拉深完成之后。

2. 单一工序的成形次数及工序尺寸计算技巧

(1) 确定成形次数 n。

(2) 工序尺寸的确定。

a. 各工序直径的确定。计算出的工序尺寸可做适当的调整：首先将最后一次直径按工件尺寸取，其后将中间工序直径尽量取为整数并使各工序的成形系数与许用极限成形系数的差值较平均。

b. 各工序圆角的确定。各工序圆角按 r_d、r_p 计算方法确定。

c. 各工序成形高度计算。可根据工件成形前后体积（或面积）不变的原则来计算成形件高度（亦可查阅有关公式）。

4.9.4 成形力、成形功及压力机床的选用

工序尺寸确定以后应确定该工序所需压力设备。压力机的选用应首先满足该工序成形力与成形功的要求，其次应考虑模具的安装与使用要求，必要时还应考虑成形速度的影响。成形力的计算可根据经验或查阅有关计算公式，对于深成形件还应进行成形能量的校核，即将成形负荷曲线与压力机许用负荷曲线相比较，前者的成形力应小于许用负荷，并且其所需的能量（即积分面积）小于许用负荷曲线所能提供的能量（许用负荷曲线在行程内所含面积）。

在工程实践中由于冲压负荷曲线难以获得，常采用近似方法选用压力机。

对于一般的曲柄压力机，产生公称压力的行程一般为滑块行程的 5%~7%（按规定，开式压力机额定压力行程为 3~15 mm，闭式压力机为 13 mm），在行程中间点，压力为公称压力的 40%~50%。对于施力行程小于压力机行程 5%的工序，可直接按压力机的公称压力选择设备，如一般的落料、冲孔、压印及弯曲等。

压力机的选用除应进行冲压力与功的校核外，还应选择合适的类型。应根据该工序的工艺性质、批量大小、工件的几何尺寸精度等确定压力机的类型。冲压生产中常用的曲柄压力机和液压压力机的比较见表 4-18。

表 4-18 曲柄压力机和液压压力机的比较

性 能	曲柄压力机	液压压力机
加工速度	快	很慢
行程长度	不能够太长	做成 1000 mm 以上比较容易
行程长度的变化	一般小型压力机的行程做成不可调的， 因为行程长度调节会使机构复杂	行程长度变化容易
行程终端的位置	能够准确地确定	就压力机本身来说不能准确确定
所产生的压力与行程位置的关系	离死点越远，所产生的压力越小	公称压力与行程位置没有关系
压力的调节	一般难以做到，即使做到也不能准确调节	容易调节
保压作用	不能	能
锤击作用	有一定的锤击作用	没有
过载的可能性	会产生	不会产生
维修的难易	较易	较难

在选择压力机时应注意它们的适用条件。

开式压力机操作空间三面敞开，操作方便，容易安装机械的附属设备，价格也低廉。其缺点是，刚性较差，对冲件质量、模具寿命可能有一定影响。因此，它常用于中、小型且料不太厚，质量要求不高的工件。而对大、中型和精度要求高的冲压件，多用闭式曲柄压力机，对较复杂的大型拉深件更宜采用双动冲床。小批量生产，特别是大型厚板件多用液压压力机。

5.1 冷挤压件的工艺性审核技巧

5.1.1 冷挤压件的合理形状和成形极限的确定

成形极限取决于材料是否破裂和失稳，在闭式的模具中还取决于模具的强度以及润滑程度和操作条件。

冷挤压适用于加工软质、延展性好，硬度在 HBS100 以下的金属材料。冷挤压件成形极限和工艺性要求确定技巧如图 5-1、表 5-1 和表 5-2 所示。冷挤压件的角部 r 值的确定技巧见表 5-3。

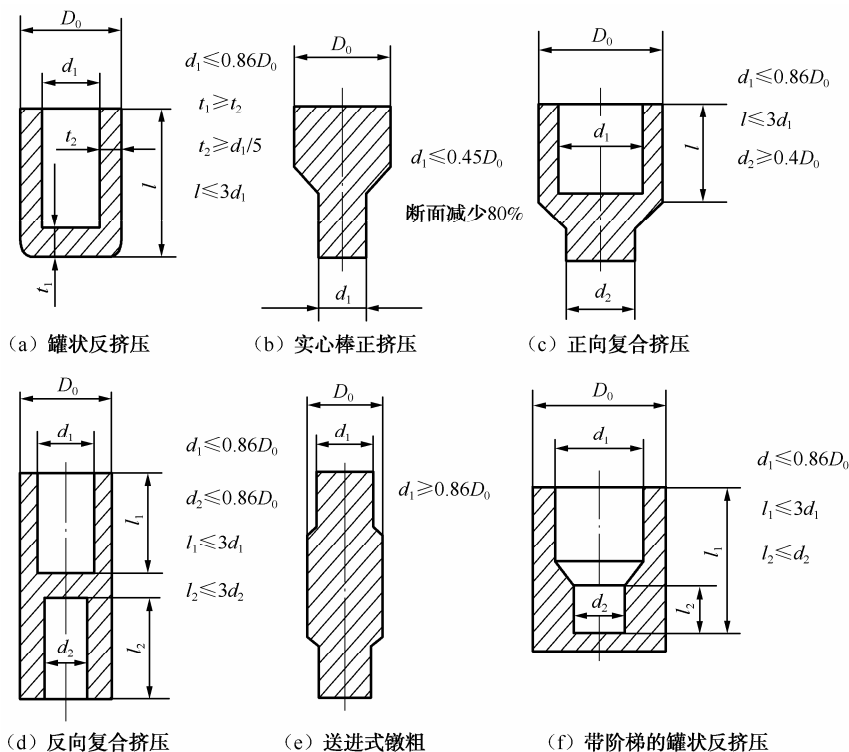


图 5-1 各种挤压成形的结构尺寸确定技巧

表 5-1 冷挤压加工实用成形极限

材 料	反挤压 (%)	正挤压 (%)	备 注
CK10 (10)	140~160	170~200	渗碳钢 $w_C=0.06\% \sim 0.12\%$
CK15 (15)	120~130	160~170	渗碳钢 $w_C=0.12\% \sim 0.18\%$
CK35 (35)	70	80~100	渗碳钢 $w_C=0.32\% \sim 0.4\%$
CK45 (45)	50	60~65	渗碳钢 $w_C=0.42\% \sim 0.5\%$
10MnCr5	55~70	75~100	铬锰渗碳钢 $w_C=0.14\% \sim 0.19\%$, $w_{Si}=0.15\% \sim 0.35\%$ $w_{Mn}=1.0\% \sim 1.3\%$, $w_{Cr}=0.8\% \sim 1.1\%$

续表

材 料	反挤压 (%)	正挤压 (%)	备 注
34CrMo4 (35CrMo)	50~60	70~90	铬钢渗碳钢 $w_{\text{Cr}}=0.9\% \sim 1.2\%$, $w_{\text{C}}=0.3\% \sim 0.37\%$, $w_{\text{Si}}=0.15\% \sim 0.35\%$ $w_{\text{Mo}}=0.15\% \sim 0.25\%$, $w_{\text{Mn}}=0.5\% \sim 0.8\%$
Al99.5 (L3)	350~450	350~500	纯铝
AlMgSi	250~400	300~400	时效铝合金 $w_{\text{Mg}}=0.6\% \sim 1.4\%$, $w_{\text{Si}}=0.6\% \sim 1.2\%$
AlCuMg	140~180	250~300	时效铝合金 $w_{\text{Mg}}=0.2\% \sim 1.8\%$, $w_{\text{Cu}}=2.5\% \sim 5\%$
ECu	160~180	200~250	电解铜
MS63~72	140~150	140~200	MS63 ($w_{\text{Cu}}=62\% \sim 65\%$) 黄铜 MS72 ($w_{\text{Cu}}=71.5\% \sim 74\%$)

注：表中数值均为对数断面收缩率。材料为 SEL (stahl-Eisenlite) 及 DIN17006 标准。材料栏 () 为我国钢号。

表 5-2 冷挤压件形状工艺性比较

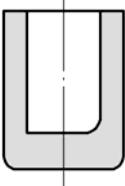
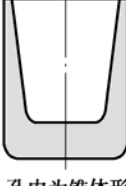
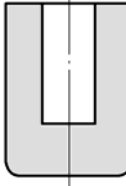
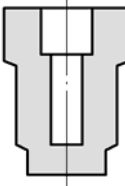


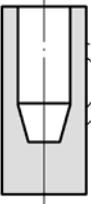
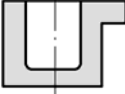
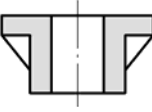
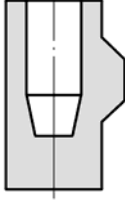
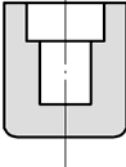
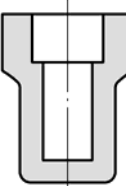
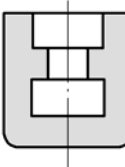
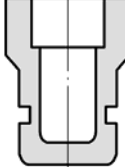
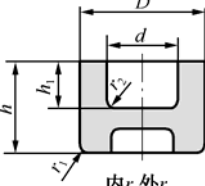
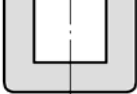
序 号	适合的形状	不适合的形状	序 号	适合的形状	不适合的形状
1		 孔内为锥形体	4		
2	 后加工   焊接 局部外形后加工	 局部金属积聚  十字筋  幅板	5	 	  内外环形槽
3	 内 r_2 外 r_1	 内腔锐角			

表 5-3 角部 r 值 (mm)

D 或 d h 或 h_1	外 侧 r_1		内 侧 r_2	
	普 通	精 密	普 通	精 密
~10	0.5~2.0	0.3~1.0	1.0~3.0	0.5~1.5
10~25	0.7~2.0	0.5~1.5	1.5~4.0	0.7~2.0
25~50	1.0~3.0	0.7~2.0	2.0~5.0	1.0~3.0
50~80	1.5~5.0	1.0~3.0	2.5~7.0	1.5~5.0
80~120	2.0~6.0	1.5~5.0	3.0~9.0	2.0~7.0
120~160	3.0~9.0	2.0~8.0	4.0~10.0	3.0~9.0

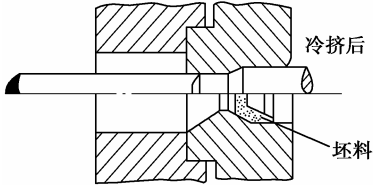
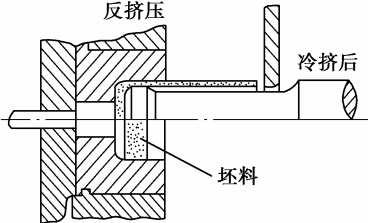
注： r_1 、 r_2 参看表 5-2 序号 3 插图。

D 为工件外径， d 为工件内径， h 为工件高度， h_1 为内孔深度。

5.1.2 冷挤压件的尺寸精度确定

有关正（顺）挤、反（逆）挤罐状工件的尺寸范围和极限精度确定技巧见表 5-4。

表 5-4 冷挤压（正挤压、反挤压）罐状工件的尺寸范围和极限精度 (mm)

冷挤压种类	材 料 尺 寸 要 素	铅、锌、锡、铝		铜、黄铜、铝合金 (AlCuMg)		精 度
		下限 尺寸	上限尺寸	下限尺寸	上限 尺寸	
	圆管直径	3	100	5	100	± (0.03~0.05)
	矩形管断面尺寸	2×4	70×80	3×5	70×80	± (0.03~0.05)
	壁厚	0.05	0.1	0.3 (黄铜) 0.5 (铜)	≥0.1	± (0.03~0.075)
	凸缘厚度	0.2~ 0.3	0.5	0.3 (黄铜) 0.5 (铜)	≥壁厚	± (0.05~1.0)
	长度	5	50	3	40	± (1~5)
	圆管直径	8	80~100	10	30~40	± (0.03~0.05)
	矩形管断面尺寸	5×7	70×80	6×9	20×40	± (0.03~0.05)
	壁厚	0.08	0.23	0.5 (铜) 1.0 (黄铜)	≥1.0	± (0.03~0.075)
	底厚	0.25~ 0.3	0.5	0.5 (铜) 1.0 (黄铜)	>壁厚	± (0.1~0.2)
	长度/直径	3/1	10/1 (铅) 8/1 (铝)	3/1	5/1	± (1~3)

注：表中精度为最高极限精度。

5.2 冷挤压坯料的确定和表面处理技巧

5.2.1 冷挤压坯料的确定

冷挤压件图的制定技巧

首先研究工件图，然后确定符合挤压工艺性的工件形状、尺寸，绘出挤压件图，力求最大限度地减少挤压成形的后续加工。现举例说明如下。

例 5-1 如图 5-2 所示。

- (1) 工件上的小孔 *A* 挤压困难，改为切削加工；
- (2) 单边槽 *C* 改为对称两个槽，避免凸模侧向压力不均匀而损坏；
- (3) 退刀槽 *B* 无法挤压；
- (4) 尖角棱边 *D* 改为圆角光滑过渡。

例 5-2 如图 5-3 所示。

(1) 因工件小端沉槽外圈尺寸与内孔的壁厚差小于 0.3 mm，挤压成形困难，故在外形与内孔上应留余量，挤压后再切削加工。

(2) 为利于金属流动，小端与大端连接处做成倒角过渡，挤压后口部不平整应留切边余量。

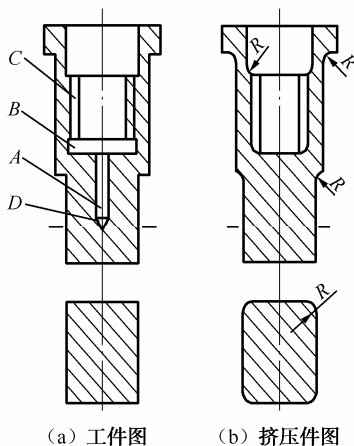


图 5-2 挤压件图例一

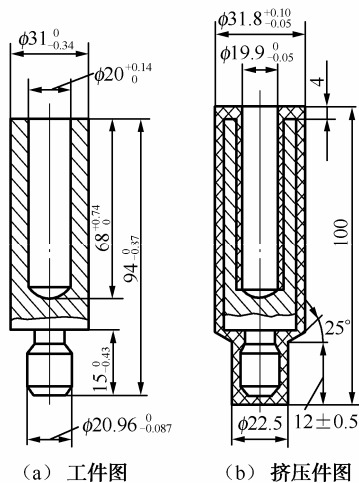


图 5-3 挤压件图例二

5.2.2 坯料尺寸的计算

坯料尺寸根据坯料体积等于挤压件体积的原则进行计算，即

$$V_0 = V + V_1$$

式中 V_0 ——坯料体积；

V ——挤压件体积，由挤压件图求得；

V_1 ——修边体积，一般取挤压件体积的 3%~5%，旋转体的挤压件修边余量见表 5-5、表 5-6。

表 5-5 修边余量 Δh (mm)

工 件 高 度	10	10~20	20~30	30~40	40~60	60~80	80~100
Δh	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5

注：1. 在工件尺寸大于 100 mm 时， Δh 应为工件高度的 6%。
2. 在做复合挤压时，因金属上下流动不均匀， Δh 应适当加大。
3. 对于矩形件，可按上表的数值加倍。
4. 此表用于批量不大的薄壁挤压件。

表 5-6 大量生产铝质外壳时的修边余量 Δh (mm)

工 件 高 度	15~20	20~50	50~100
Δh	8~10	10~15	15~20

注：本表适用于壁厚为 0.3~0.4 mm 的薄壁铝反挤压件的大量生产。

对于形状简单的挤压件，可用体积简化公式进行计算。复杂形状的可划分成若干个简单形状，分别按体积公式进行计算。另外，还可利用实样称出重量，加上经验估计出增加部分的重量，再由坯料的重量 m 换算成体积 V_0 。

冷挤压原材料除螺钉、销钉采用线材外，一般采用棒料、板材及管材等，坯料形状尽量接近挤压件形状，以减少成形时金属的体积流动。挤压件形状与坯料形状的关系见表 5-7。

表 5-7 挤压件形状与坯料形状的关系

挤压件形状		坯 料 形 状
轮 廓 形 状	尺 寸 比	
实 心 件	高度 h 大时	棒料或线材
	高度 h 小时	棒料或板材落料坯料
空 心 件	高度 h 大，壁厚且直径 D 大时	板材落料坯料
	高度 h 小，直径 D 小时	棒料
	直径 D 大时	棒料或板材落料坯料
球 状 体	采用预先成形的杯形、管状或特制断面的毛坯，或者使用锻件	

注： h ——挤压件高度； D ——挤压件最大外径。一般坯料的外径 D_0 应符合：

正挤 $D_0 = D_{\text{凹}} - (0.1 \sim 0.3 \text{ mm})$

反挤 $D_0 = D_{\text{凹}} - (0.01 \sim 0.05 \text{ mm})$ （适用于薄壁有色金属）

5.3 冷挤压力的确定技巧

5.3.1 冷挤压件变形程度的确定技巧

1. 变形程度的表示法

(1) 断面收缩率 ε_A ：

$$\varepsilon_A = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\%$$

(2) 挤压比 G ：

$G=A_0/A_1$

(3) 对数变形程度:

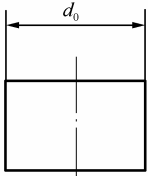
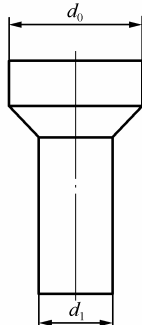
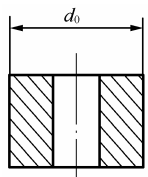
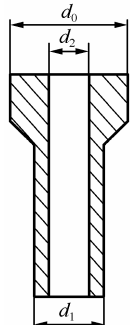
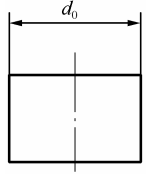
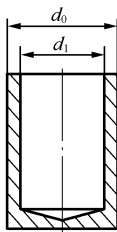
$\varphi=\ln G=\ln \left(A_0 / A_1\right)$

式中 A_0 ——冷挤压前坯料的横截面积;

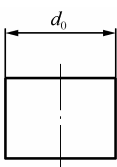
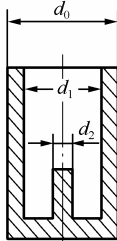
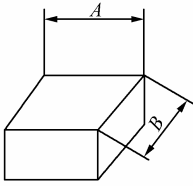
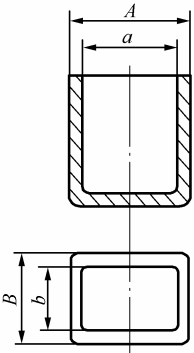
A_1 ——冷挤压后坯料的横截面积。

变形程度的计算公式见表 5-8。

表 5-8 变形程度的计算公式

坯料尺寸	工件尺寸	计算公式		
		断面收缩率 ε_A	挤压比 G	对数变形程度 φ
		$\varepsilon_A=\left(1-\frac{d_1^2}{d_0^2}\right) \times 100 \%$	$G=\frac{d_0^2}{d_1^2}$	$\varphi=\ln \frac{d_0^2}{d_1^2}$
		$\varepsilon_A=\frac{d_0^2-d_1^2}{d_0^2-d_2^2} \times 100 \%$	$G=\frac{d_0^2-d_2^2}{d_1^2-d_2^2}$	$\varphi=\ln \frac{d_0^2-d_2^2}{d_1^2-d_2^2}$
		$\varepsilon_A=\frac{d_1^2}{d_0^2} \times 100 \%$	$G=\frac{d_0^2}{d_1^2}$	$\varphi=\ln \frac{d_0^2}{d_1^2}$

续表

坯料尺寸	工件尺寸	计算公式		
		断面收缩率 ε_A	挤压比 G	对数变形程度 φ
		$\varepsilon_A = \frac{d_0^2 - d_2^2}{d_0^2} \times 100\%$	$G = \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2 + d_2^2}$	$\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2 + d_2^2}$
		$\varepsilon_A = \frac{ab}{AB} \times 100\%$ <p>当 $A=B$, $a=b$ 时</p> $\varepsilon_A = \frac{a^2}{A^2} \times 100\%$	$G = \frac{AB}{AB - ab}$ <p>当 $A=B$, $a=b$ 时</p> $G = \frac{A^2}{A^2 - a^2}$	$\varphi = \ln \frac{AB}{AB - ab}$ <p>当 $A=B$, $a=b$ 时</p> $\varphi = \ln \frac{A^2}{A^2 - a^2}$

2. 许用变形程度表示法

一次挤压加工容许的变形程度,称为许用变形程度。冷挤压时变形程度越大,则变形抗力也越大,当超过模具所能承受的单位压力时,会影响模具寿命甚至使模具损坏。许用变形程度受到模具许用单位挤压力的限制。因此,不论冷挤压材料和工艺参数条件如何,均应按同一许用单位挤压力来决定其变形程度,这就是等压原则。

国内对批量生产的中小型工件,许用单位挤压力为 2000~2500 MPa (一般条件时采用小值,条件较好时采用大值)。

正挤压的许用变形程度(如图 5-4~图 5-7 所示),图 5-4 所示的 1、2 两条线是根据等压原则,在坯料相对高度为 1,凹模入模角为 120° 的条件下得出的等压线。考虑到实际条件可能变动,在等压线 1、2 下面留有 5% 的范围作为该等压线的等压带。

当坯料相对高度与凹模锥角不同于图 5-4 规定的数值时,应考虑相应的修正系数:

Q_α = 正挤压许用变形程度/入模角为 120° 的正挤压许用变形程度

式中, Q_α 为凹模锥角 α 对许用变形程度的修正系数,如图 5-5 所示。

坯料相对高度对许用变形程度的修正系数:

Q_H = 坯料相对高度的许用变形程度/坯料相对高度为 1 的许用变形程度

式中, Q_H 为坯料相对高度对许用变形程度的修正系数,如图 5-6 和图 5-7 所示。

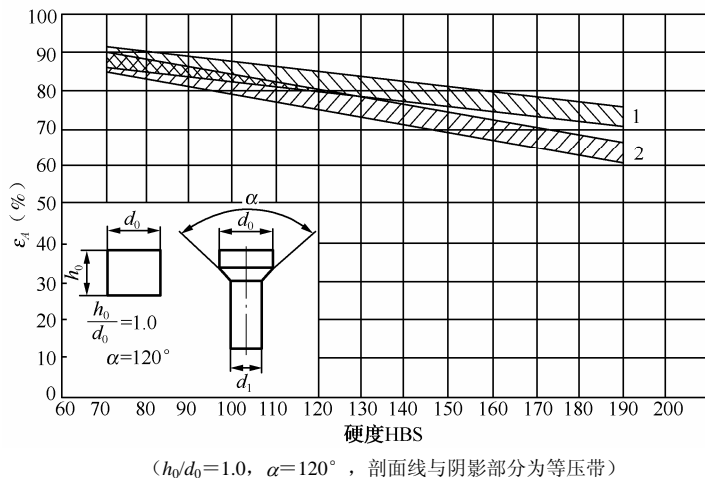
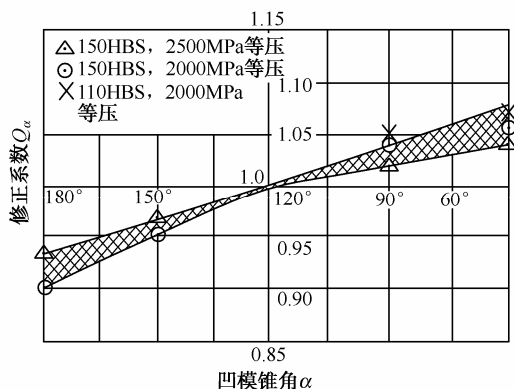
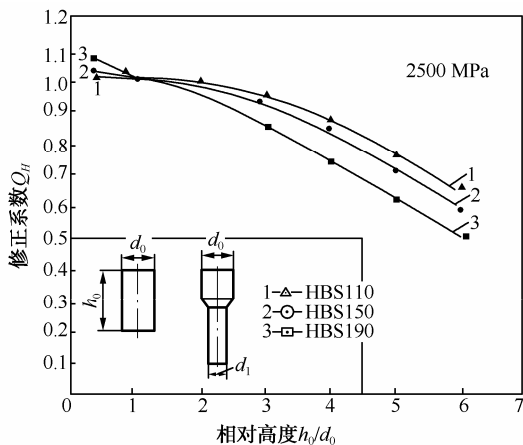
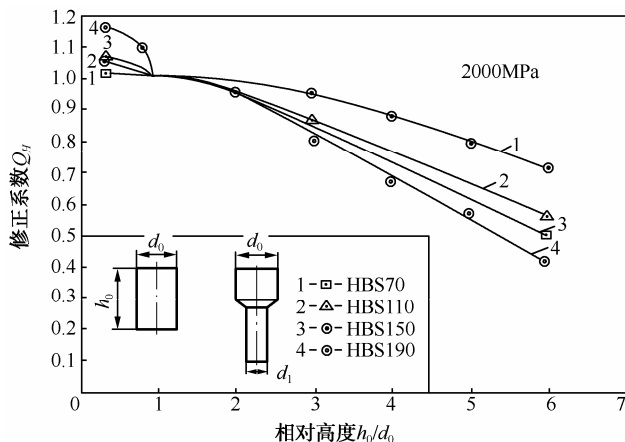
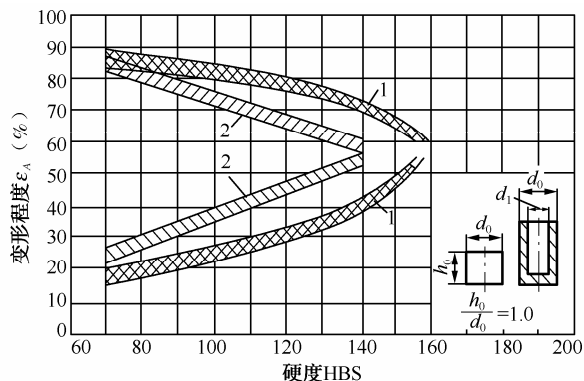


图 5-4 黑色金属正挤压许用变形程度

图 5-5 许用变形程度的凹模锥角修正系数 Q_α 图 5-6 正挤压许用变形程度的坯料相对高度修正系数 Q_H (2500 MPa 等压线修正)图 5-7 正挤压许用变形程度的坯料相对高度修正系数 Q_H (2000MPa 等压线修正)

黑色金属反挤压的许用变形程度如图 5-8 所示。



1—许用单位挤压力为 2500 MPa；2—许用单位挤压力为 2000 MPa（剖面线与阴影部分为等压带）

图 5-8 黑色金属反挤压的许用变形程度

5.3.2 挤压力的确定

确定挤压力时，应认真考虑挤压材料在变形过程中所受的约束和摩擦条件，以及加工硬化所引起的变形抗力的变化。在实际生产中往往要做各种假定。

变形程度增加，则变形抗力也随之增大。冷挤压时材料变形抗力随着加工进行的时间、条件而变化。为此，根据加工的时间、条件，取在变形范围内变形抗力的积分平均值（称为平均变形抗力值），作为某一场合下估算挤压变形抗力的代表值。

为计算方便，建议采用下列公式。

各种冷挤压的挤压力 F ：

$$F = CA_b \sigma_m$$

式中 A_b ——凸模加压面积；

σ_m ——平均变形抗力；

C ——约束系数，它随加工条件和材料而异，由如图 5-9 所示方法得到。

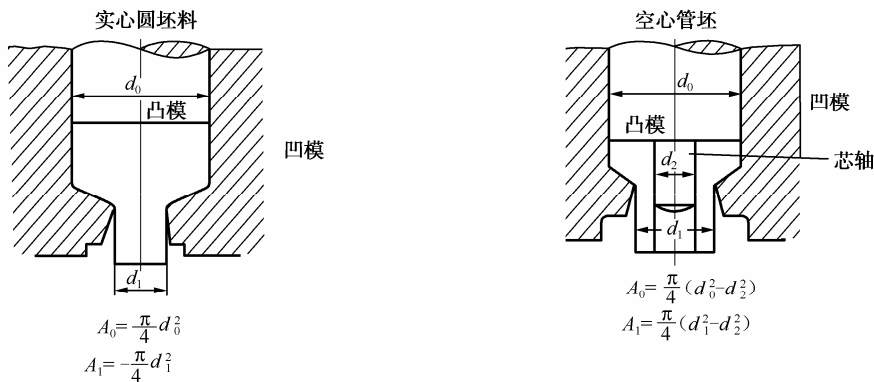
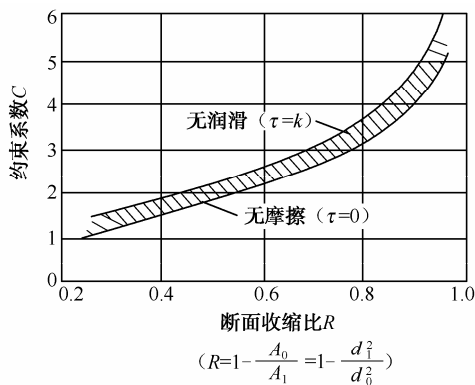
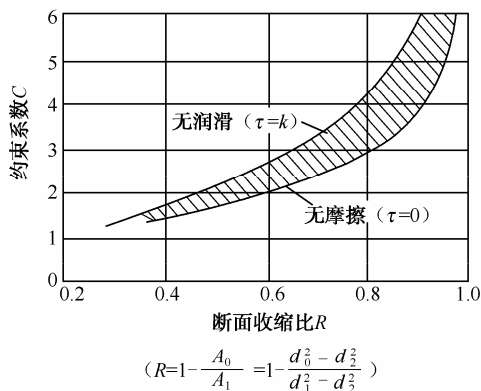


图 5-9 正挤压的约束系数 C 值



(a) 实心圆坯料



(b) 空心管坯

图 5-9 正挤压的约束系数 C 值 (续)

5.4 冷挤压模具设计技巧

5.4.1 工作零件的设计

冷挤压模具工作零件应保证模具有较高的寿命,降低挤压力,同时有利于挤压时金属的流动成形。

1. 凸模设计技巧

(1) 圆形冷挤压凸模根部断面变化处的应力集中,是引起凸模损坏的根本原因,是影响凸模寿命的主要因素,而减少或消除应力集中,则是模具结构设计的重要任务。

由理论分析和测试可知,凸模根部断面变化大的台阶采用锥面过渡或大圆弧光滑连接,比用小圆弧过渡的应力集中要小。

(2) 通过查图法确定凸模根部形状尺寸如图 5-10 和图 5-11 所示,图内所示各个代号意义如下。

d_1 : 两个圆弧切点的直径。

y_1 、 y_2 : 从根部分别至两个圆弧圆心的距离,对于承受弯曲力和扭力的场合, $y_2=y_1$ 。

图 5-10 所示为承受拉力和压力的场合,当凸模直径 $d=75$ 时(图上虚线所示),沿虚线查找,从而求得下列各值:

凸模根部直径 D : $D=122.3 \rightarrow 123$

y_3 位置上的直径 d_1 : $d_1=100.7 \rightarrow 101$

根部至 r_1 圆心的距离 y_1 : $y_1=90.3 \rightarrow 91$

根部至 r_2 圆心的距离 y_2 : $y_2=26$

根部至 d_1 的距离 y_3 : $y_3=16.4 \rightarrow 17$

r_1 圆心至凸模中心的距离 x_1 : $x_1=345.3 \rightarrow 346$

r_2 圆心至凸模中心的距离 x_2 : $x_2=73.5 \rightarrow 74$

过渡圆弧半径 r_1 : $r_1=304.5 \rightarrow 305$

过渡圆弧半径 r_2 : $r_2=28.7 \rightarrow 29$

图 5-11 所示为承受弯曲力和扭力的场合, 可以采用同样方法求得相应各值

在使用上述图时, 应注意以下几点: 如图 5-10 和图 5-11 所示, 如果 d 的单位以 mm 计, 则查得的 D 、 r_1 等以 mm 为单位; 如果 d 的单位以 cm 计, 则查得的 D 、 r_1 等以 cm 为单位。总之有关各部位的尺寸单位和 d 一致。

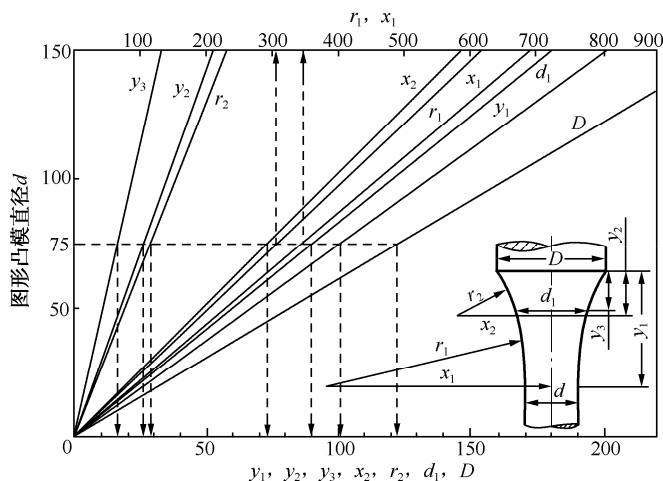


图 5-10 圆形凸模根部最适宜形状 (承受拉力或压力的圆形凸模根部纵断面形状)

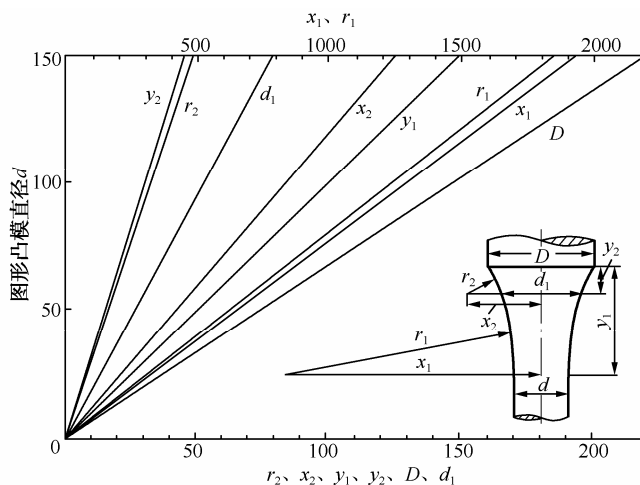


图 5-11 圆形凸模根部最适宜形状 (承受弯曲力或扭力的圆形凸模根部纵断面形状)

当同时承受拉力或压力和弯曲力或扭力两者的组合力时, 则先以拉力或压力的数据图表为基础求得数值, 再考虑安全因素。

可以用斜线近似地代替圆弧形, 如图 5-12 所示, 这时的应力集中系数 K_t 可用下式计算:

$$K_t = \frac{2 \tan \alpha}{\left(\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)}$$

K_f 值见表 5-9, K_f 越小, 应力集中越小。

表 5-9 典型的 K_f 值

斜 度	α	K_f
1/1	45°	1.55
1/2	26°	1.16
1/3	18°	1.07
1/4	14°	1.04
1/5	11°	1.02

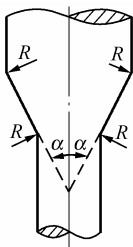


图 5-12 凸模根部用斜线代替圆弧形状

(3) 反挤压凸模。

如图 5-13 所示, 图 (a)、图 (b)、图 (c) 适用于黑色金属, 图 (a)、图 (b) 应用较普遍, 图 (c) 的单位挤压力要比图 (a) 大。图 (d)、图 (e)、图 (f) 适用于有色金属; 图 (g) 适用于软金属, 这种凸模称为活门凸模, 其作用是在挤压壁很薄的工件时, 防止在卸料时形成真空吸附而使工件或模具损坏。图 (h)、图 (i) 凸模在工件底部有一定形状要求时采用。

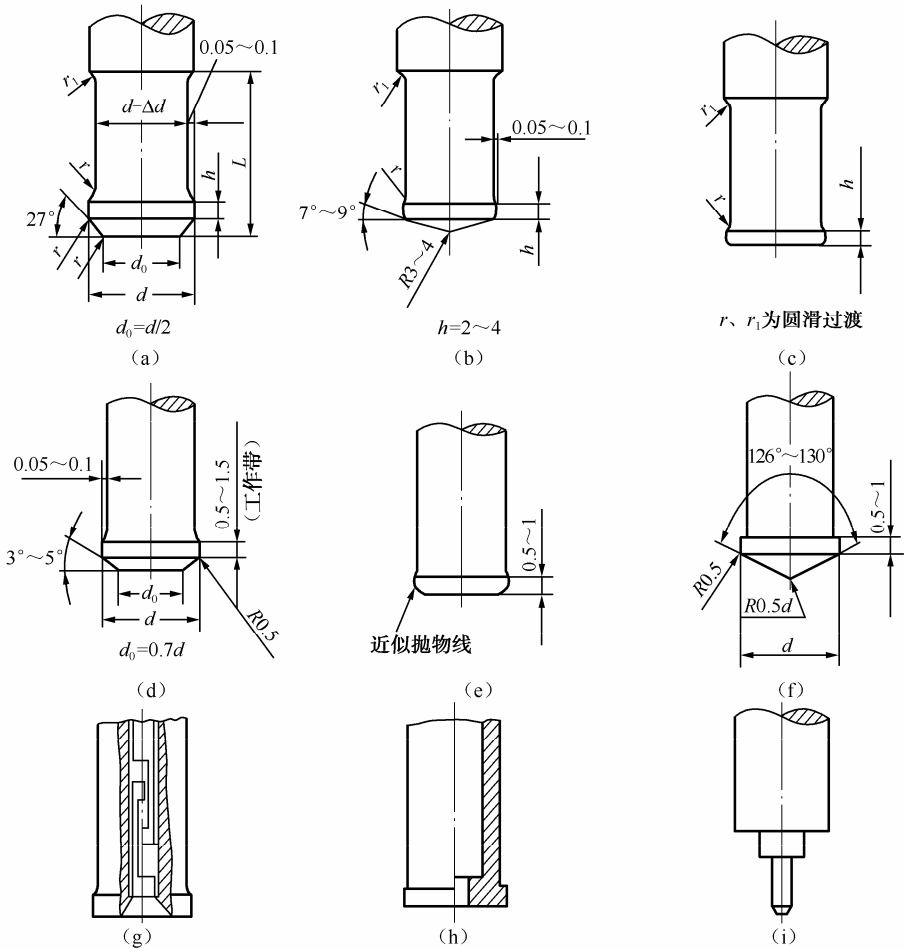


图 5-13 反挤压凸模工作部分形状

凸模的有效长度 L 与直径 d 之比 (L/d) 根据挤压材料可参考下列数据:

纯铝 $L/d=7\sim10$

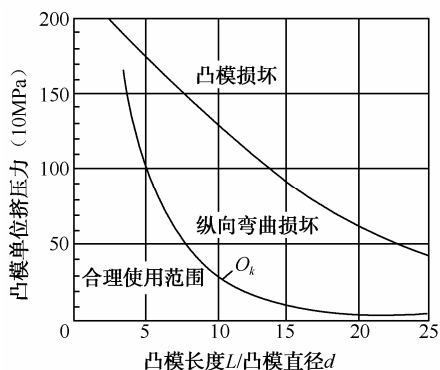
紫铜 $L/d=5\sim6$

黄铜 $L/d=4\sim5$

低碳钢 $L/d=2.5\sim3$

根据单位挤压力选用 L/d , 其长径比 L/d 与所用单位挤压力之间的关系, 如图 5-14 所示。

反挤压纯铝、紫铜的细长凸模, 为了增加其稳定性, 可在凸模端面做工艺槽, 槽宽一般取 $0.3\sim0.8\text{ mm}$, 深 $0.3\sim0.6\text{ mm}$, 底部不应有尖角, 必须对称, 同轴, 否则会起反作用, 如图 5-15 所示。



凸模纵向实际总压力 $F'_2 = 2.05 \frac{\pi E l}{L^2}$

凸模纵向弯曲应力:

$$\sigma_k = 2.05 \times \pi^2 \frac{E}{16(l/d)^2} = \frac{20E}{16(l/d)^2}$$

$$= 1.25 \frac{E}{(l/d)^2}$$

式中 E —弹性模量, 钢取 $(2.1\sim2.2) \times 10^5 \text{ MPa}$;

l —凸模长度 (mm);

d —凸模直径 (mm)。

图 5-14 冷挤压凸模挠曲强度极限

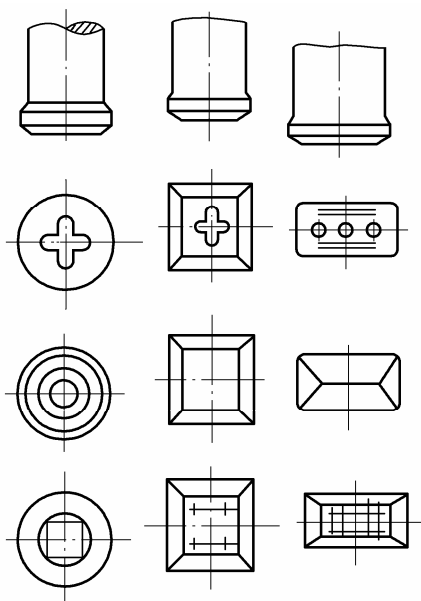


图 5-15 工艺槽的形状

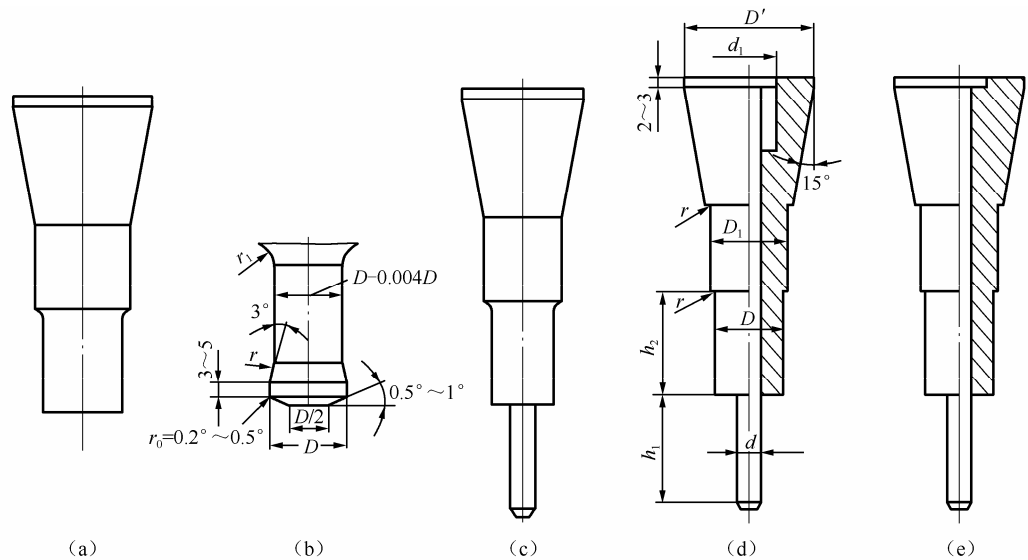
反挤压凸模工作部分尺寸参数见表 5-10。

(4) 正挤压凸模。

图 5-16 所示是正挤压凸模的各种形式。实心件正挤压凸模比较简单, 可按图 (a)、图 (b) 的形式设计。图 (b) 型端部的锥度有防止凸模纵向开裂的作用。正挤压空心件的凸模设计, 如为纯铝空心件可用图 (c) 的形式。较硬的金属材料, 特别是黑色金属用图 (d)、图 (c) 的组合形式。图 (e) 型组合凸模与芯轴之间的配合采用 IT7 级, 在挤压过程中, 芯轴受到摩擦而产生很大的拉应力, 故适用于芯轴直径较大, 或挤压材料不太硬, 或摩擦系数较小的条件。图 (d) 型组合凸模、凸模孔与芯轴之间的配合用 H7/H6。挤压过程中由于摩擦力的作用, 芯轴可随变形金属向下滑动, 大大减弱了芯轴的受拉程度, 可避免芯轴被拉断。

表 5-10 反挤压凸模工作部分尺寸参数

尺寸参数 挤压材料	r_0 (mm)	α_β (°)	d_0 (mm)	Δd (mm)	h (mm)
低碳钢	0.2~0.5	0~2	$(1.0\sim0.7) d$	$0.008d$	2~4
中碳钢 低合金结构钢	0.5~1.5	2~5	$(0.7\sim0.5) d$	$0.012d$	
轴承钢 合金结构钢	1.5~3.0	5~7	$(0.5\sim0.3) d$	$0.016d$	



注： d —挤压件内孔直径； D —挤压件头部直径； $D' = (1.8\sim2) D_1$ ； $D_1 = (1.2\sim1.3) D$ ； $d_1 = (d+5)$ ； h_1 —坯料高度+凹模刃带高度； h_2 —坯料变形长度+凹模导向部分高度； $r = (0.1\sim0.1) D$

图 5-16 正挤压凸模的各种形式

(5) 反、正挤压凸模非工作部分结构形状选择技巧。

对挤压力大的圆形凸模，其根部用查图法确定其圆弧过渡尺寸形状。图 5-17 所示为通常采用的反挤压凸模的几种简单结构形式。图 (a)、图 (b) 最为普通。若从减少或消除应力集中点出发，对受力情况恶劣的凸模，做成图 (c)、图 (d) 所示形状较为合理（代替圆弧过渡）。上述几种形式对正挤压凸模结构同样适用。

2. 凹模设计技巧

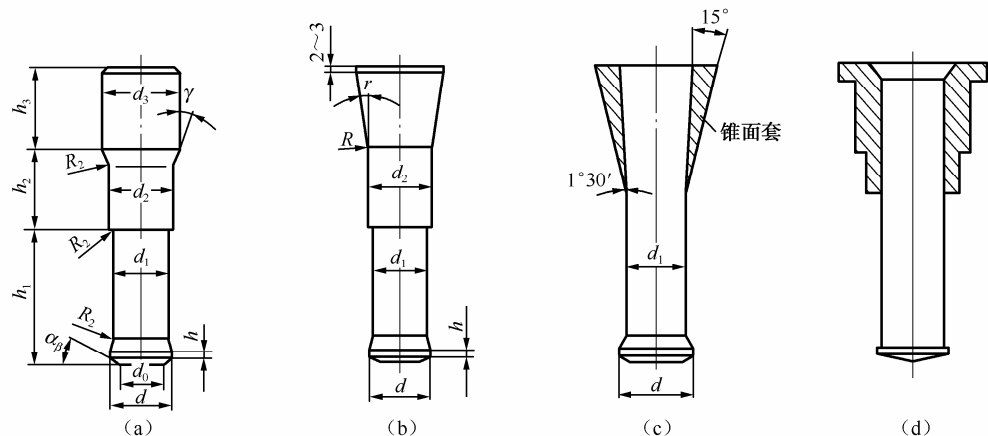
(1) 反挤压凹模

反挤压凹模如图 5-18 所示，型腔参数见表 5-11。整体式（如图 5-18 (d) 所示）因模具强度和顶件的因素，使用极少。

(2) 正挤压凹模

正挤压凹模如图 5-19 所示。凹模一般采用预应力圈的结构。图中 (a) 是整体式的，在

使用中，直筒部分与锥角相交处产生应力集中，易开裂，故多采用图（b）、图（c）、图（d）等剖分式结构。型腔参数见表 5-12。



注： d ——挤压件内孔直径； $d_1=d-(0.1\sim0.2)\text{ mm}$ ； $d_2\geq d_1$ ； $d_3\geq 1.3d$ ； $R_2=(0.2\sim0.4)d$ ； $\gamma=15^\circ\sim30^\circ$ ； h_1 =挤压件内孔高度+（3~5）mm； h_2 =卸料板高度+（10~15）mm； $h_3\approx d_3$

图 5-17 反挤压凸模的几种简单结构形式

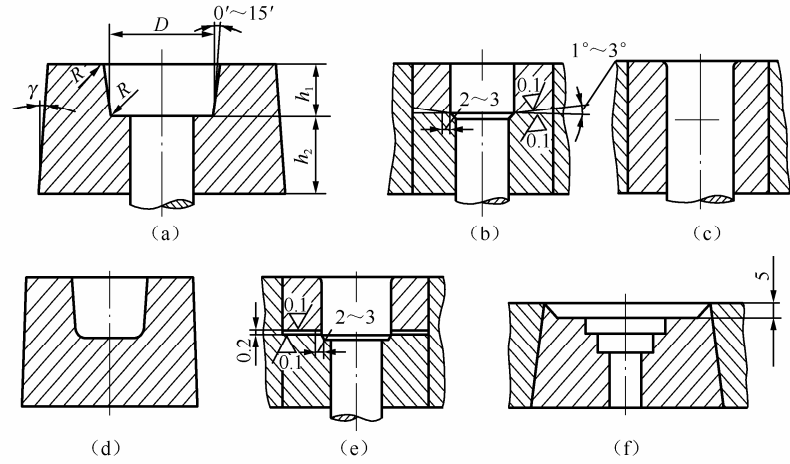


图 5-18 反挤压凹模

表 5-11 凹模型腔参数

	尺寸参数	
	D	按挤压件外径确定
	R	$\geq 2\text{ mm}$
	h_1	$(0.7\sim1.0) D_2$
	h_2	$h_0+R+(5\sim10)\text{ mm}$
	h	h_2+h_1

注： h_0 ——坯料高度。

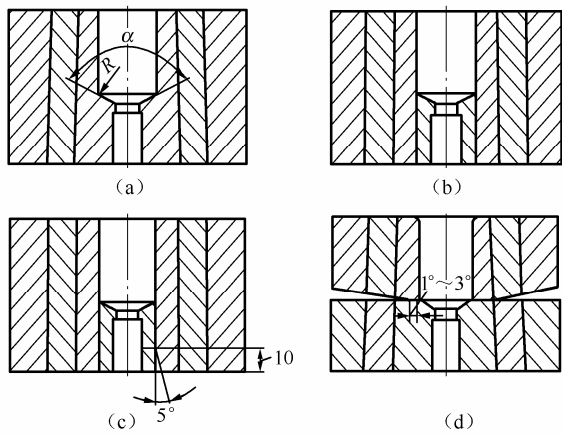


图 5-19 正挤压凹模

表 5-12 凹模型腔参数

	尺寸参数			
	D	$D_0 + (0.15 \sim 0.2) \text{ mm}$		
	d_1	挤压件杆部直径		
	d_2	$d_1 + (0.5 \sim 1.0) \text{ mm}$		
	r	$2 \sim 3 \text{ mm}$		
	R_2	$> 2 \text{ mm}$		
	R_1	$0.5 \sim 1 \text{ mm}$		
	h_3	$(0.5 \sim 1) D$		
	h_2	$h_0 + R_2 + r + (2 \sim 3) \text{ mm}$		
	注： D_0 ——坯料直径； h_0 ——坯料高度。			
挤压材料	纯铝	低碳钢	硬铝、紫铜、黄铜	
h_1	1.0~2.0	2.0~4.0	1.0~3.0	

5.4.2 顶杆、垫板的设计

1. 顶杆的设计

兼做挤压用的顶杆（下凸模），必须与凸模一样考虑（如图 5-20 所示）。不做挤压用的顶杆，应根据载荷的具体情况，保证其纵向稳定性即可。

2. 垫板的设计

挤压时的单位挤压力可达 2000~2500 MPa，会使模座产生凹陷或变形。一般是在凸模和模座之间，以及凹模与模座之间加垫板以分散压力。垫板的厚度 h 和压力传递范围及传递的最大压强 p_{\max} 如图 5-21 所示。

垫板厚度增加，则压力面的传递直径增加，传递的压强减小，同一厚度若做成多层形式要比单层的传递压力范围大，传递的压强要小，因此用多层垫板的结构对于缓冲压力有利。

3. 凸、凹模工作部分尺寸计算

凸、凹模工作部分尺寸计算公式见表 5-13。

4. 冷挤压组合凹模设计

为了防止凹模横向裂纹的产生，生产中采用横向或纵向剖分的凹模结构；为提高凹模强度，防止纵向裂纹产生，生产中普遍使用预应力组合凹模。

(1) 组合凹模形式的确定

根据凹模内壁侧向压力 ($p_{\text{凹}}$) 的数值确定凹模形式，如图 5-22 所示。

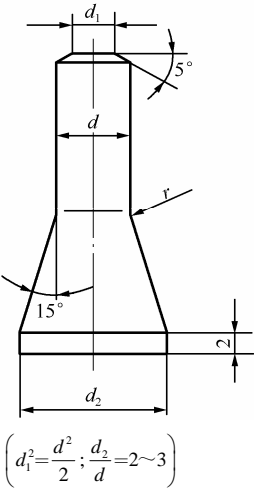


图 5-20 典型顶杆结构形式

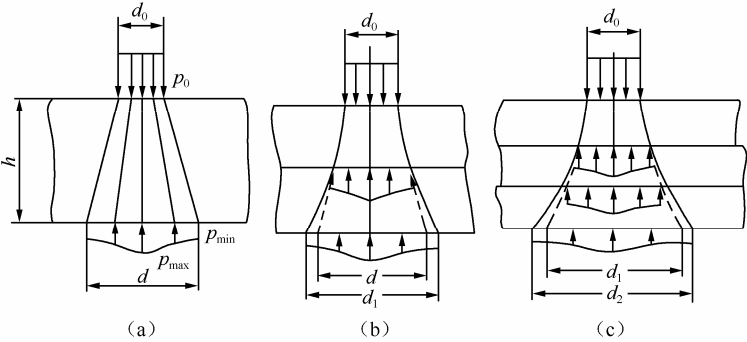


图 5-21 单位压力的传递状态

表 5-13 凸、凹模工作部分尺寸计算公式

尺寸基准	工件示意图	计算公式
要求外形尺寸		$D_{\text{凹}} = \left(D - \frac{3}{4} \Delta \right)_0^{+\delta_{\text{凹}}}$ $d_{\text{凸}} = \left(D - \frac{3}{4} \Delta - 2t \right)_{-\delta_{\text{凸}}}^0$ $\delta_{\text{凹}} = \delta_{\text{凸}} \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10} \right) \Delta$
要求内形尺寸		$d_{\text{凸}} = \left(d + \frac{1}{2} \Delta \right)_{-\delta_{\text{凸}}}^0$ $D_{\text{凹}} = \left(d + \frac{3}{4} \Delta - 2t \right)_0^{+\delta_{\text{凹}}}$ $\delta_{\text{凸}} = \delta_{\text{凹}} \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10} \right) \Delta$

注：式中， D （或 d ）——挤压件基本尺寸； t ——挤压件壁部厚度； $D_{\text{凹}}$ ——凹模尺寸； $\delta_{\text{凹}}$ ——凹模制造公差； $d_{\text{凸}}$ ——凸模尺寸； $\delta_{\text{凸}}$ ——凸模制造公差； Δ ——挤压件公差

(2) 两层组合凹模的设计

如图 5-22 所示, 图中符号含义如下:

d_1 ——凹模内径(挤压件最大外径);

d_3 —— $(4\sim6)d_1$;

γ —— 1° (斜度可以向上, 亦可以向下);

C_2 —— d_2 处的轴向压合量, $C_2 = \delta_2 d_2$;

δ_2 —— d_2 处的轴向压合系数;

u_2 —— d_2 处的径向过盈量, $u_2 = \beta_2 d_2$, $C_2 = \frac{u_2}{2 \tan \gamma}$;

β_2 —— d_2 处的径向过盈系数。

(3) 三层组合凹模的设计

如图 5-23 所示, 图中符号含义如下:

d_1 ——凹模内径(挤压件最大外径);

d_4 —— $(4\sim6)d_1$;

γ —— $1^\circ 30'$ (斜度可以向上, 亦可以向下);

C_2 —— d_2 处的轴向压合量, $C_2 = \delta_2 d_2$;

δ_2 —— d_2 处的轴向压合系数;

u_2 —— d_2 处的径向过盈量, $u_2 = \beta_2 d_2$;

β_2 —— d_2 处的径向过盈系数;

C_3 —— d_3 处的轴向压合量, $C_3 = \delta_3 d_3$;

u_3 —— d_3 处的径向过盈量, $u_3 = \beta_3 d_3$, $C_2 = \frac{u_2}{2 \tan \gamma}$, $C_3 = \frac{u_3}{2 \tan \gamma}$;

β_3 —— d_3 处的径向过盈系数。

上式中, d_2 、 d_3 、 d_4 、 δ_2 、 δ_3 、 β_2 、 β_3 见表 5-14、表 5-15、表 5-16。

预应力圈的材料必须具有足够的强度与韧性。

① 中层: 5CrNiMo、40Cr、35CrMnA、30CrMnSiA;

② 外层: 5CrNiMo、0CrNiMo、25CrMnA、40Cr、45。

预应力圈淬火硬度, 中层为 HRC42~44, 外层为 HRC38~40, 反复使用时预应力圈应进行 200°C 的低温回火以消除内应力。

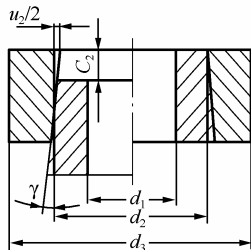


图 5-22 两层组合凹模压合

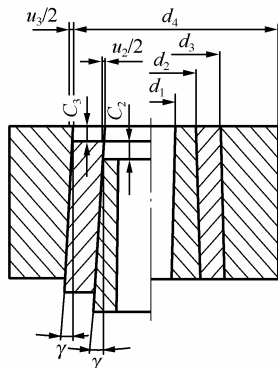


图 5-23 三层组合凹模压合

表 5-14 两层组合凹模设计参数

序 号	d_1	d_2	δ_2	β_2
1	$4d_1$	$1.8d_1$	0.6	0.0083
2	$5d_1$	$2.0d_1$	0.163	0.0085
3	$6d_1$	$2.2d_1$	0.166	0.0088

表 5-15 三层组合凹模设计参数

序 号	d_4	d_2	d_3	δ_2	β_2	δ_3	β_3
1	$4d_1$	$1.55d_1$	$2.45d_1$	0.204	0.0106	0.12	0.006
2	$5d_1$	$1.7d_1$	$2.9d_1$	0.20	0.0105	0.09	0.0045
3	$6d_1$	$1.8d_1$	$3.25d_1$	0.195	0.0102	0.072	0.0038

表 5-16 组合凹模径向过盈系数经验值

凹 模 材 料 \ 数 值	径向过盈系数 β	
	β_2	β_3
硬质合金	0.0045~0.0065	0.004~0.006
合金模具钢	0.003~0.006	0.004~0.008

5. 组合凹模的压合方法

(1) 加热压合（热装）。

将外围加热到适当的温度，套装到内圈上，外圈冷却将内圈压紧。热装时各圈可不必加工出斜度。用于较小的过盈量时的装配温度为：

$$t-t_1= (\alpha+z) / (Da)$$

- 式中 t ——预应力圈的加热温度；
 t_1 ——内圈（凹模）的温度；
 D ——配合处的直径；
 z ——插入时在 d 处的间隙（0.05~0.10 mm）；

- α ——预应力圈的线膨胀系数；
 α ——压合处的径向过盈量。

(2) 强力压合。

将各圈配合面做成锥面，在室温下进行压合，强力压合时，各圈结合锥面一般取斜度为 1°。各圈压合顺序如图 5-24 所示，有图（a）和图（b）两种；图（a）用于热压合，图（a）、图（b）均可用于强力压合，当中圈硬度高时，为避免破裂用图（b）。

拆卸时的次序应该是：先压出凹

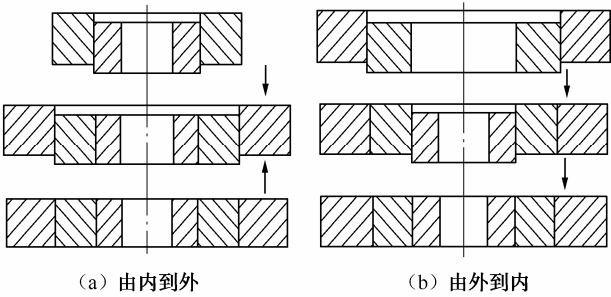


图 5-24 预应力圈的安装方法

模，再压出中圈。

6.1 级进冲裁排样工位设计技巧

6.1.1 级进冲裁排样方案的确定

如图 6-1 所示的工件,对于冲裁和弯曲的级进模排样,应先冲孔再切掉弯曲部位的废料,然后再进行弯曲。切除废料时,应注意保证条料的刚性和零件在条料上的稳定性。因为级进模的条料在冲压过程中不能翻转,因此应慎重确定弯曲件的基准平面。图 6-2 所示为排样图,图 (a) 为纵排排样,图 (b) 为横排排样,图 (c) 为斜排排样,其中横排排样明显比纵排排样材料利用率高,横排排样明显比斜排排样后续模具结构简单,因此图 (b) 为最佳方案。

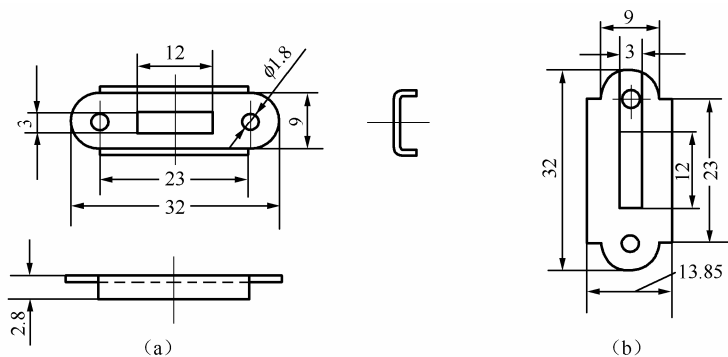


图 6-1 工件图

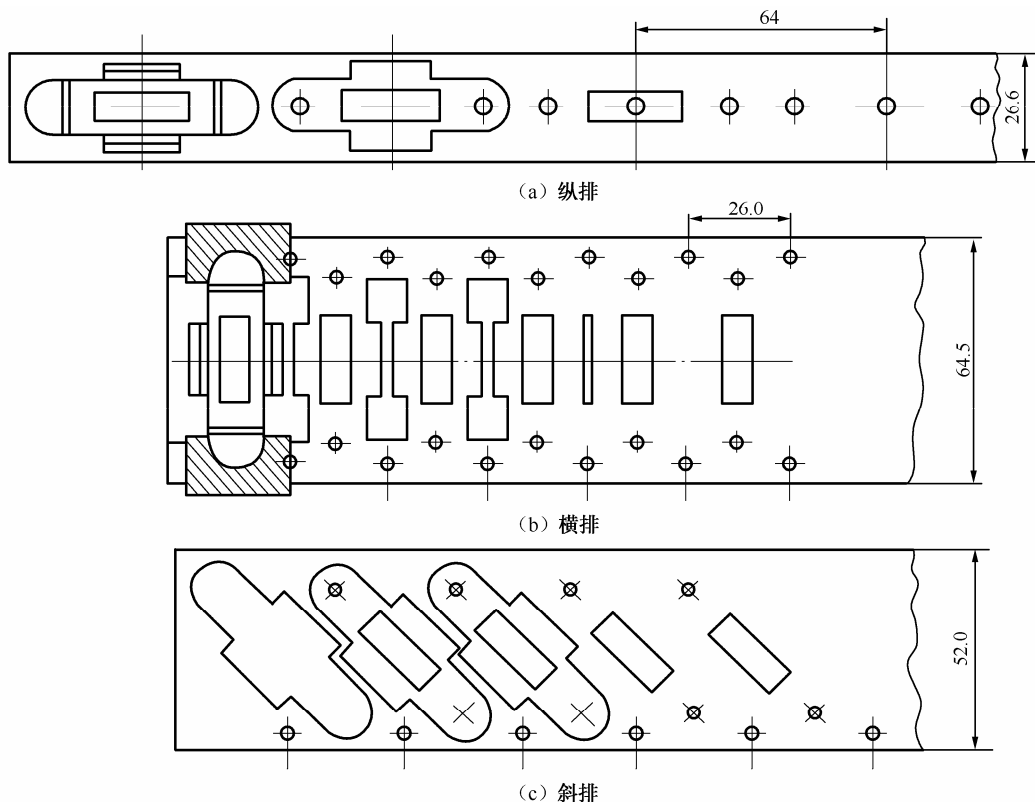


图 6-2 排样图

6.1.2 搭边尺寸的确定

多工位级进模的搭边比单工序模的搭边稍微大一点，如图 6-3 所示。当比值 C/W 小于 1.5 时，其搭边尺寸见表 6-1。当 C/W 比值大于 1.5 时，其搭边尺寸见表 6-2。

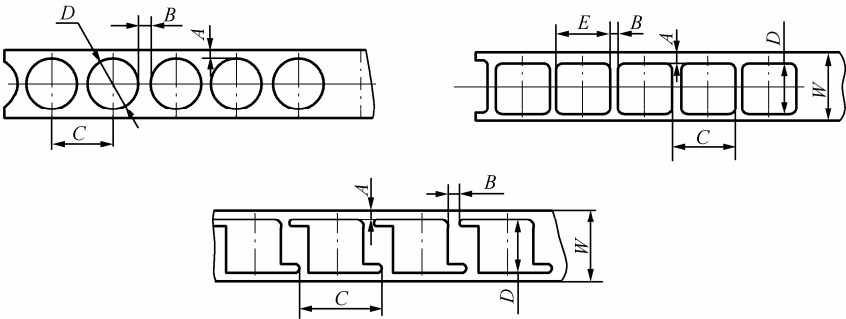


图 6-3 多工位级进模搭边尺寸

表 6-1 C/W 小于 1.5 时，多工位级进模搭边尺寸

材料宽度 W (mm)	级进模搭边 A 和 B (mm)	
	标 准	最 小
<25	t	0.8
<75	$1\frac{1}{4}t$	1.2
<150	$1\frac{1}{2}t$	2.5

表 6-2 C/W 大于 1.5 时，多工位级进模搭边尺寸

材料宽度 W (mm)	级进模搭边			
	A (mm)		B (mm)	
	标 准	最 小	标 准	最 小
<25	$1\frac{1}{4}t$	1.0	t	1.2
<75	$1\frac{1}{2}t$	1.4	$1\frac{1}{2}t$	1.8
<150	$1\frac{3}{4}t$	2.0	$2t$	2.5

6.1.3 冲裁级进模的料宽 (W) 和进距 (C) 计算

$C=E+B$

式中 E ——与送料方向平行的工件宽度；
 B ——工件的搭边值。

$$W=W_1+b$$

$$W_1=D+2A$$

式中 W_1 ——经侧刃冲切后的料宽；

b ——侧刃切去的料宽，见表 6-3；

D ——与送料方向垂直的工件长度；

A ——侧面搭边宽度。

表 6-3 侧刃切去的料宽

材料厚度	b 值	材料厚度	b 值
0.1~0.5	1.0	1.2~2	2.0
0.5~1.2	1.5	2~3	2.5

当单列排样采用平行排列多个工件的方法时，进距可以选单个进距的 n 倍，这样就可以避免排样上出现工序不齐或重复冲孔、弯曲、落料的现象。排样示例如图 6-4 所示。

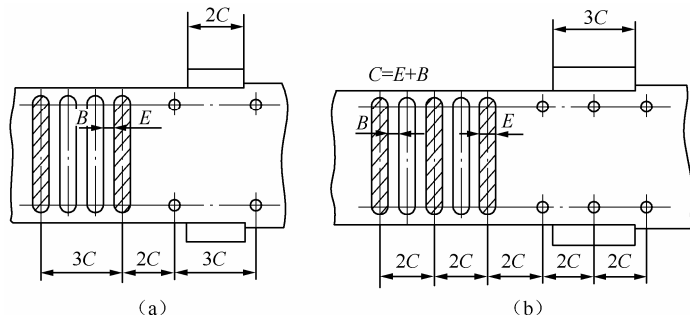


图 6-4 排样示例

6.2 级进弯曲排样工位设计技巧

6.2.1 展开尺寸的计算

图 6-5 所示为五种常用弯曲形式，其展开尺寸的计算公式如下。

A 部分的展开尺寸用下述方法计算。

(1) 当 $R < 2t$ 时：

$$A = (R + 0.33t) \times 0.01745\alpha$$

(2) 当 $R = (2 \sim 4)t$ 时：

$$A = (R + 0.4t) \times 0.01745\alpha$$

(3) 当 $R > 4t$ 时：

$$A = (R + 0.5t) \times 0.01745\alpha$$

弯曲件的展开尺寸 L ，如图 6-5 (a) ~ (d) 所示的弯曲形式为：

$$L = L_1 + L_2 + A$$

弯曲件的展开尺寸 L ，如图 6-5 (e) 所示的弯曲形式为：

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + A_1 + A_2$$

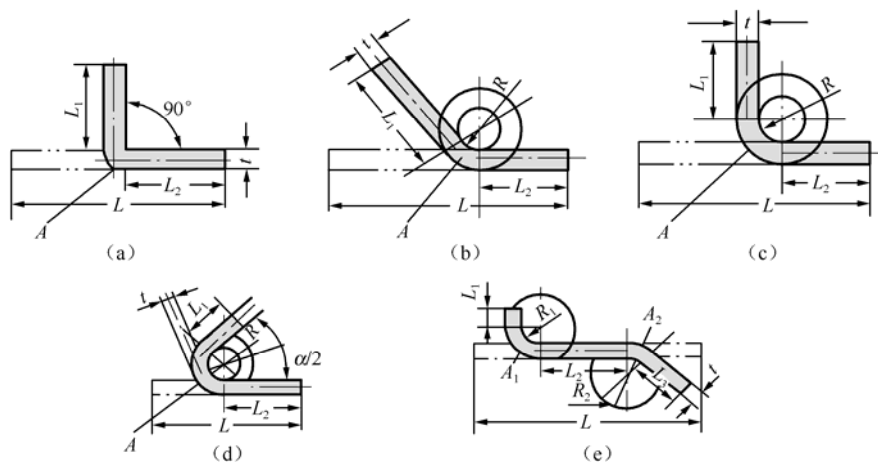


图 6-5 五种常用弯曲形式

6.2.2 冲裁和弯曲的冲压方向

在弯曲工位的模具结构,要确定弯曲方向向上或向下,材料毛刺在上面的应向上弯曲,要采用斜楔滑块形式。多次弯曲卷边时,要在多处设置斜楔滑块,占位较大,为此应增设空位留出余地,以便安装斜楔滑块。

6.2.3 分步弯曲成形

可以按工件的形状和精度分步进行弯曲成形。图 6-6 所示为弯曲件的分步成形形式,材料的一面必须和凹模保持平行,工件本体由顶料板和卸料板压紧在凹模面上,只有加工部分可以活动。

图 6-6 (a) 所示为毛刺面在上的简单直角弯曲,为获得弯曲的精度和防止回弹,可预弯 45° 后再弯曲。

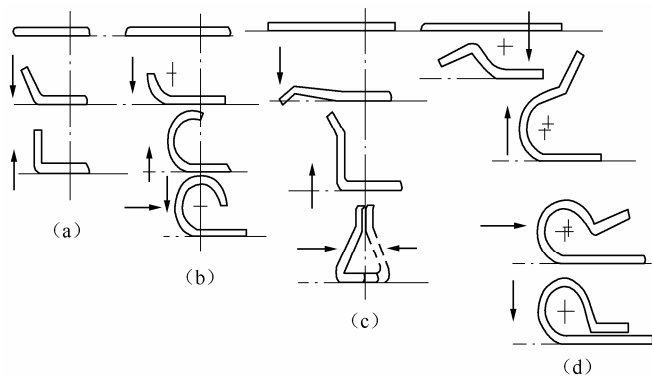


图 6-6 弯曲件的分步成形形式

6.2.4 减小回弹的措施

减小回弹的措施与单工序弯曲中所用的方法相同,如过度弯曲补偿法等,在模具结构上

应考虑有修正、调整的余地。

图 6-6 (a) 所示成直角；图 6-6 (b) 所示为毛刺面在上的卷边弯曲，分三次压弯成形；图 6-6 (c) 所示为两面弯曲后成卡钳状的工件，毛刺面在上分三次压弯成形；图 6-6 (d) 所示为弯卷形工件，分四次成形。

6.3 级进拉深排样工位设计技巧

6.3.1 工艺尺寸计算

级进拉深各工位的加工尺寸，原则上可采用单工序拉深模的计算公式求得，如坯料展开面积应等于工件形状的各组成部分面积的总和。由于在冲压过程中材料产生加工硬化，不能在后续拉深中进行退火、去污、洗净等处理，因而相应地要增加拉深的次数。

6.3.2 连续拉深排样

多工位连续拉深工艺在技术上难度大，往往要经过反复的试做才能成功。通常情况的拉深方向都是向下的，在每一个凹模内设置了顶件杆。连续拉深由于有搭边，因此要正确地定出进距和工位数，为了使材料塑性流动容易，可采用先冲工艺槽孔或圆形切口、双层圆形切口等方法。

图 6-7 所示为拉深前先冲工艺槽孔的排样，带料的宽度会因拉深而变窄，所以必须设置适当的导向装置，使送料稳定，防止中心部位偏移。

图 6-8 所示为拉深前先冲双层圆形切口的排样，与图 6-7 所示的方法相比，可提高材料的利用率，而且在拉深过程中其条料的宽度几乎不变，所以能稳定地送料。在连续拉深的情况下，导正销只是校正材料的送进尺寸，而在第三工位之后，主要依靠导料板使带料稳定前进。

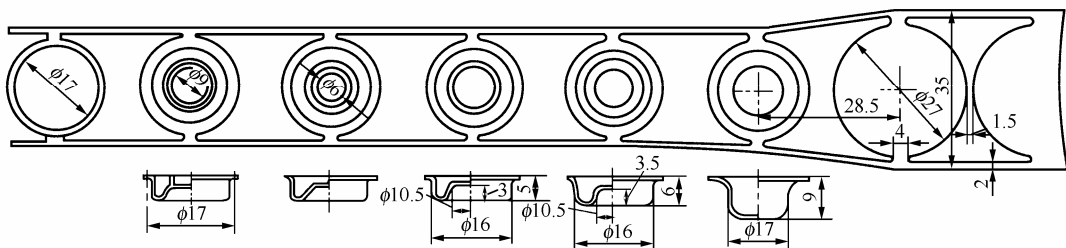


图 6-7 拉深前先冲工艺槽孔的排样

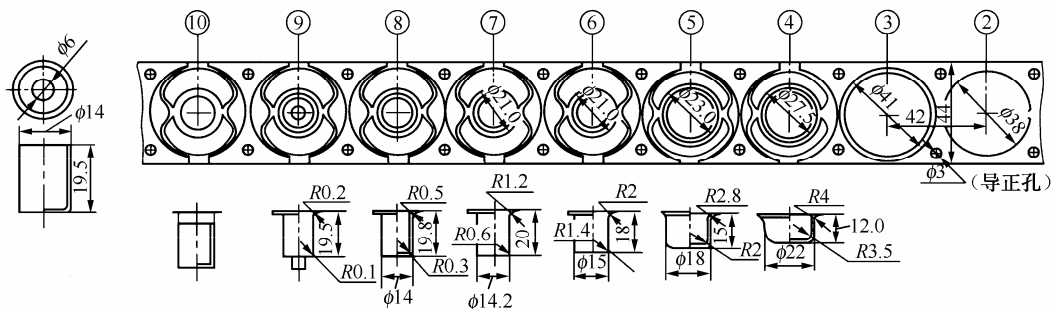


图 6-8 拉深前先冲双层圆形切口的排样

6.3.3 料宽和进距的计算

(1) 坯料尺寸 D_0 的确定

带料级进拉深的坯料尺寸：

$$D_0 = D_{\text{计}} + \sigma$$

式中 D_0 ——已考虑修边余量的坯料直径；

$D_{\text{计}}$ ——计算出来的坯料直径；

σ ——修边余量，见表 6-4。

表 6-4 修边余量

毛坯 计算直径 $D_{\text{计}}$	材料厚度 t									
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0
≤ 10	1	1	1.2	1.2	1.5	1.8	2	—	—	—
10~30	1.2	1.2	1.4	1.5	1.8	2	2.2	2.5	2.8	—
30~50	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.5	2.8	3.3	3.8
> 50	—	—	1.8	2	2.2	2.5	2.8	3.2	3.8	4.5

(2) 整带料级进拉深的送料步距 C 和料宽 W 的确定（如图 6-9 所示）

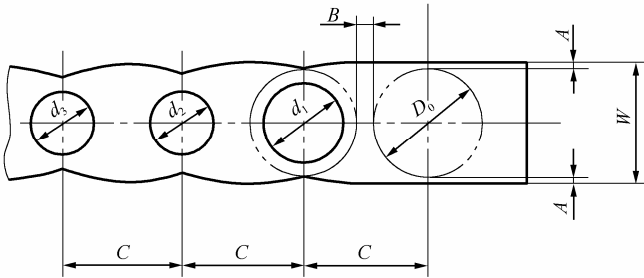


图 6-9 整带料级进拉深

由于相邻工位之间材料相互牵制，变形受阻，拉深次数增加，因此整带料拉深仅适用于 $t/d > 0.02$ 、 $h/d \leq 2.5$ 、 $d_1/d \leq 2.5$ 、 $D_0 < 50 \text{ mm}$ 时的中小型拉深工件。其中， t ——材料厚度， d ——工件的外径； h ——工件的高度； d_1 ——工件的凸缘直径； D_0 ——工件拉深前的坯料尺寸。

整带料级进拉深的送料步距 C 为：

$$C = (0.8 \sim 1) D_0 + B$$

B 为侧面搭边值，见表 6-5。

表 6-5 侧面搭边值

毛坯直径 D_0	侧面搭边值 A			相邻搭边值 B
	$t < 0.5$	$t = 0.5 \sim 1$	$t > 1$	
< 10	1~1.2	1.2~1.5	1.5~1.8	1~1.2
10~30	1.2~1.5	1.5~1.8	1.8~2	1.2~1.5
> 30	1.5~1.8	1.8~2	2~2.5	1.5~2

首次拉深直径与 D_0 相差较大时，式中系数取小值，且 B 值可以为零。

整带料级进拉深的材料宽度 W 为:

$$W = D_0 + 2A$$

式中, A 为侧面搭边值, 按表 6-5 所示值选用。

(3) 带料切口级进拉深的进距 C 和料宽 W 的确定

图 6-10 (a)、(b) 所示适合于料厚 $t < 0.5 \text{ mm}$ 的薄料拉深, 图 (b) 所示尤其适合精度要求较高的工件; 图 (c) 所示适用于 $t > 0.5 \text{ mm}$ 的圆形拉深工件; 图 (d) 所示适用于材料塑性较差的厚料的级进拉深。

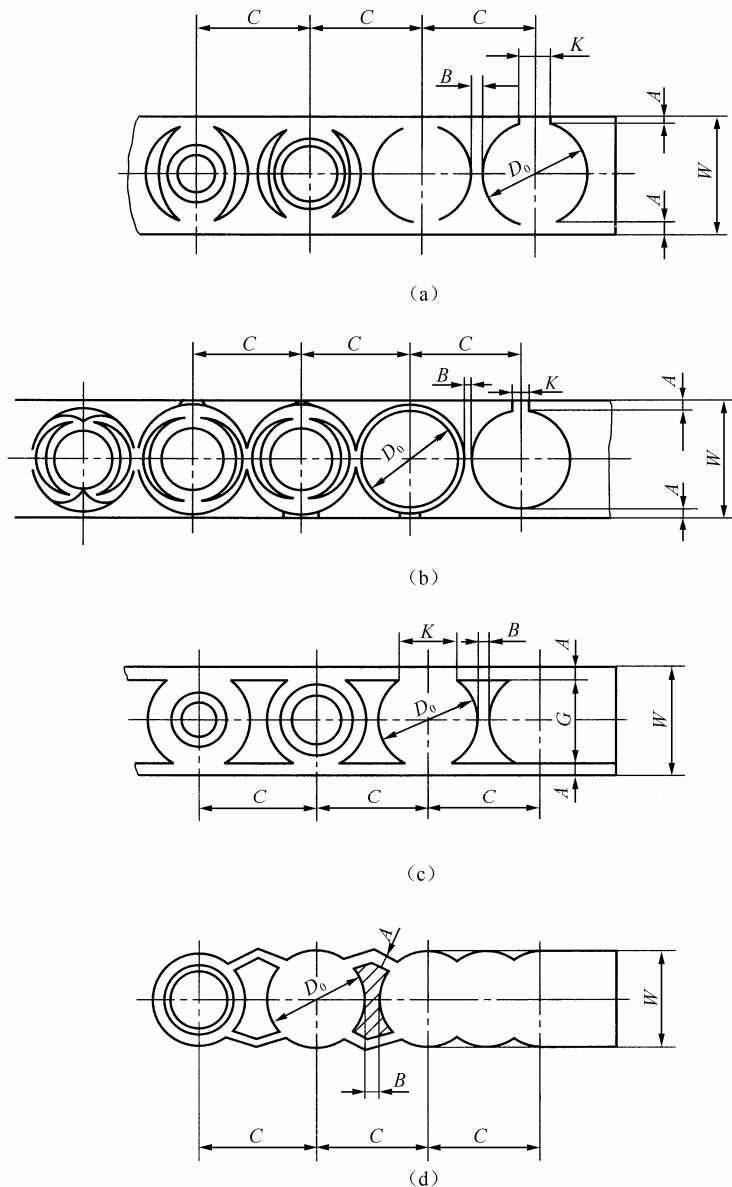


图 6-10 带料切口级进拉深

图 (a)、图 (c)、图 (d) 中: $C=D_0+B$

图 (b) 中: $C=D_0+3B$

式中 D_0 ——拉深件展开毛坯料尺寸;

B ——相邻搭边值, 可查表 6-6。

表 6-6 带料切口相邻搭边值

毛坯直径 D_0	侧面搭边值 A 及相邻搭边值 B		
	$t<0.5$	$t=0.5\sim1$	$t>1$
<10	1.2~1.5	1.5~1.8	1.8~2
10~30	1.5~1.8	1.8~2	2~2.5
>30	1.8~2	2~2.5	2.5~3

6.3.4 带料级进拉深的工艺计算

1. 拉深系数的确定

带料级进拉深的总变形程度以总拉深系数 $m_{\text{总}}$ 来表示:

$$m_{\text{总}}=d/D_0=m_1\cdot m_2\cdot \cdots \cdot m_n$$

式中 d ——工件最后直径;

D_0 ——坯料直径;

m_1 、 m_2 、 \cdots 、 m_n ——各次拉深系数。

计算所得的 $m_{\text{总}}$, 应大于表 6-7 所列出的 $m_{\text{总}}$ 的极限值。各次拉深系数 m_1 、 m_2 、 \cdots 、 m_n 均不得超过表 6-7 中的极限值。

表 6-7 拉深系数极限值

序 号	材 料	首 次 拉 深	再 次 拉 深	总 拉 深
1	拉深用钢板	0.55~0.60	0.75~0.80	0.16
2	不锈钢板	0.50~0.55	0.80~0.85	0.2
3	镀锌钢板	0.58~0.65	0.88	0.28
4	铜	0.55~0.60	0.85	0.2~0.24
5	黄铜	0.50~0.55	0.25~0.80	0.20~0.24
6	锌	0.65~0.70	0.85~0.90	0.32
7	铝	0.53~0.60	0.8	0.18~0.22
8	硬铝	0.55~0.60	0.9	0.24

当整带料级进拉深时, 拉深条件较差, 拉深系数应较大。

有工艺切口的带料级进拉深, 其首次拉深系数、首次拉深相对高度、以后各次拉深系数分别见表 6-8、表 6-9、表 6-10。

表 6-8 首次拉深系数

凸缘相对 直径 d_0/d_1	材料相对厚度 t/D_0 (%)			凸缘相对直 径 d_0/d_1	材料相对厚度 t/D_0 (%)		
	>2	2~1	<1		>2	2~1	<1
<1.1	0.60	0.62	0.64	1.5~2.0	0.56	0.58	0.60
1.1~1.5	0.58	0.60	0.62	2~2.5	0.55	0.56	0.58

表 6-9 首次拉深相对高度

凸缘相对直径 d_0/d_1	材料相对厚度 t/D_0 (%)		
	>2	2~1	<1
<1.1	0.75~0.60	0.65~0.50	0.60~0.48
1.1~1.5	0.60~0.48	0.52~0.40	0.48~0.38
1.5~2	0.45~0.38	0.40~0.32	0.34~0.28
2~2.5	0.32~0.26	0.30~0.24	0.26~0.20

表 6-10 以后各次拉深系数

再次拉深系数 $m_n = d_n/d_{n-1}$	材料相对厚度 t/D_0 (%)		
	>2	2~1	<1
m_2	0.75	0.76	0.78
m_3	0.78	0.79	0.80
m_4	0.80	0.81	0.82
m_5	0.82	0.84	0.85

2. 日本学者明海进推荐的有关资料

(1) 拉深次数和各次的直径减小率

按相对高度来计算：当 $h/d \leq 0.75$ 时，拉深次数为 1；
当 $h/d \leq 1.5$ 时，拉深次数为 2；
当 $h/d \leq 3$ 时，拉深次数为 3；
当 $h/d \leq 4.5$ 时，拉深次数为 4。

随着比率增大，次数增多，如图 6-11 所示。

黄铜板拉深直径的减小率比软钢板增加 3%~5%；铝板拉深直径的减小率比软钢板减小 3%~5%。

(2) 各次拉伸的底面圆角半径 R 中心点的位移。

各次拉深时底面圆角半径 R 中心点的位置应成阶梯形位移，如图 6-11 (c) 所示。

(3) 拉深凹模 R 的形状，如图 6-11 (d) 所示。

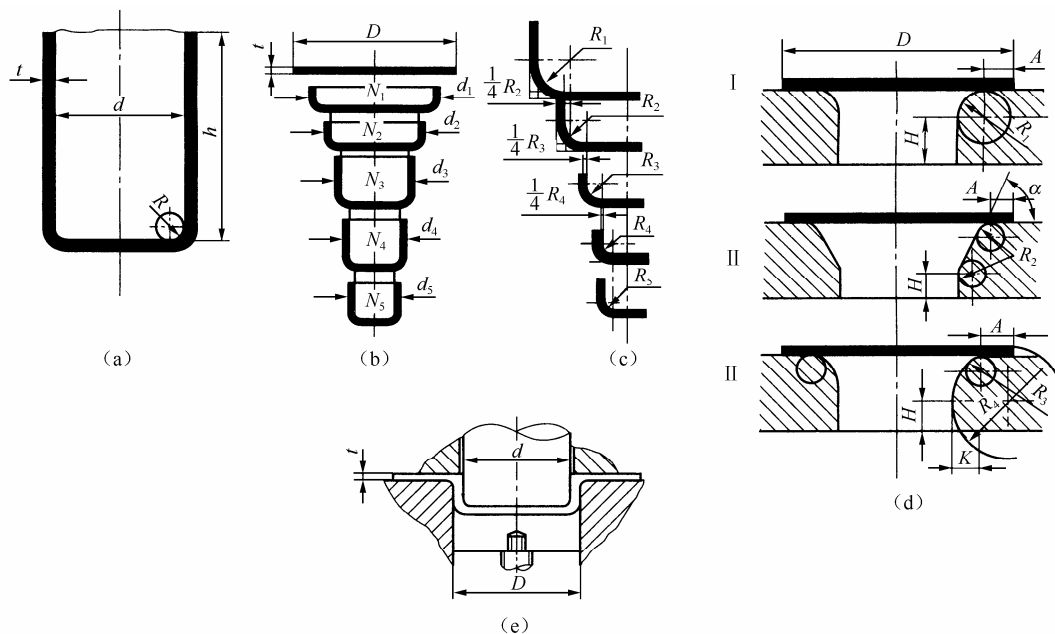


图 6-11 级进拉深计算

3. 凹、凸模的圆角半径 (见表 6-11)

表 6-11 凹、凸模的圆角半径

拉深工序		材料相对厚度 t/D_0 (%)		
		>2	$2 \sim 1$	<1
凹模	首次拉深以后各次拉深	$(2 \sim 4)t$	$(3 \sim 5)t$	$(4 \sim 6)t$
		$r_d = (0.6 \sim 0.7) r_{d_{n-1}}$	$r_d = (0.65 \sim 0.7) r_{d_{n-1}}$	$r_d = (0.6 \sim 0.7) r_{d_{n-1}}$
凸模	首次拉深以后各次拉深	$1.1r_{d1}$	$1.3r_{d1}$	$1.5r_{d1}$
		$r_p = (0.5 \sim 0.7) r_{p_{n-1}}$	$r_p = (0.55 \sim 0.7) r_{p_{n-1}}$	$p_n = (0.6 \sim 0.7) r_{p_{n-1}}$

当工件圆角半径尚未达到规定尺寸时,可增加整形工序,每整形一次,圆角半径均减小。

4. 各工序间拉深高度的确定

级进拉深各次的拉深高度随拉深直径减小而增大,同时随凹、凸模的圆角半径减小而减小,其减小值由下式决定:

$$\Delta h = 0.86 (r_{n-1} - r_n)$$

式中 Δh ——由于凹、凸模圆角半径变化,而引起的拉深高度减小值;

r_{n-1} ——前一道凹、凸模圆角半径;

r_n ——后一道凹、凸模圆角半径。

5. 各工序拉深力的计算

$$F_{\max} = \pi d_n t \sigma_b k_f$$

式中, k_f 为系数,见表 6-12。

表 6-12 系数 k_f

序号	d_{ϕ}/d_n	拉深系数 d_n/D_0										
		0.35	0.38	0.40	0.42	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
1	3.0	1.0	0.9	0.83	0.75	0.68	0.56	0.45	0.37	0.3	0.23	0.18
2	2.8	1.1	1.0	0.90	0.83	0.75	0.62	0.50	0.42	0.34	0.26	0.20
3	2.5		1.1	1.0	0.90	0.82	0.70	0.56	0.46	0.37	0.30	0.22
4	2.2			1.1	1.0	0.90	0.77	0.64	0.52	0.42	0.33	0.25
5	2.0				1.1	1.0	0.85	0.70	0.58	0.47	0.37	0.28
6	1.8					1.1	0.95	0.80	0.65	0.53	0.43	0.33
7							1.1	0.9	0.75	0.62	0.50	0.40
8								1.0	0.85	0.70	0.56	0.45

6.4 多工位级进模排样设计

设计级进模时，首先要设计条料排样图，这是设计级进模的重要依据。其排样要求是切除废料，将零件留在条料上，分步完成各种工序，最后根据需要将零件从条料上分离下来。条料排样图一旦确定，也就确定了以下几个方面的内容：

- ① 确定了被冲零件在条料上的排列式样（单排、双排、多排），方位（横排、纵排、斜排、正排、反排），由此决定了冲压方向及材料利用率，条料辗压方向；
- ② 确定了条料载体的形式（载体与连接桥的数目与方位）；
- ③ 确定了条料宽度；
- ④ 确定了被冲制零件各部分在模具中的冲制顺序及工序内容与数目；
- ⑤ 确定了模具步距的公称尺寸和定距方式；
- ⑥ 确定了模具的工位数；
- ⑦ 基本上确定了模具各工位的结构。

级进模排样图设计的好坏，对模具设计的影响是很大的。它关系到能否得到最高的材料利用率；能否使冲压作业正常、稳定地进行并得到合格的零件。

6.4.1 零件在条料上的排列与连接

设计排样图时，应首先考虑零件在条料上的排列式样和零件与条料的连接方式。

1. 零件与条料的连接方式

零件与条料的连接可采用压合连接或实体连接。

所谓压合连接是指采用闭合高度能做精细调节的冲床，将凸模仅冲入材料厚度的 20%~30%，或采用刃口磨 V 形缺口技术实现局部搭连而后将零件压回条料，使零件与条料一起送进。此种条料送进方式常用于解决厚料冲裁掉角问题，或用于展开料周围同时参与变形而无法实现实体连接的情况。压合连接的拉深排样实例如图 6-12 所示。

所谓实体连接是指零件通过外围整体或通过连接桥与条料的载体相连。前者适用于零件外围的单纯落料；后者适用于各类工序的冲压。也有零件局部外围与载体融为一体（如图 6-13 所示）的半整体连接及无载体的全桥连接（如图 6-14 所示）和无废料排样（如图 6-15 所示）。

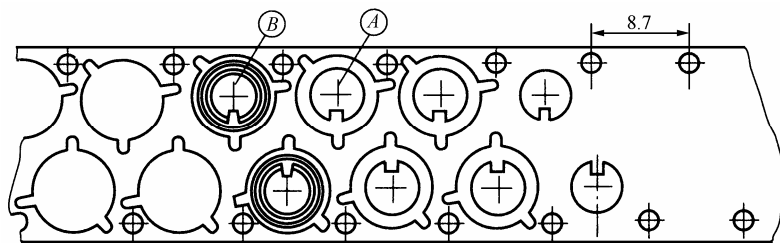


图 6-12 压合连接的拉深排样实例

载体部分：单侧载体

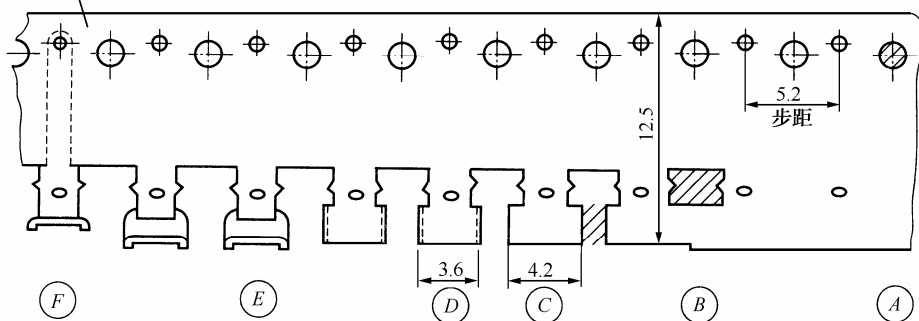


图 6-13 半整体连接

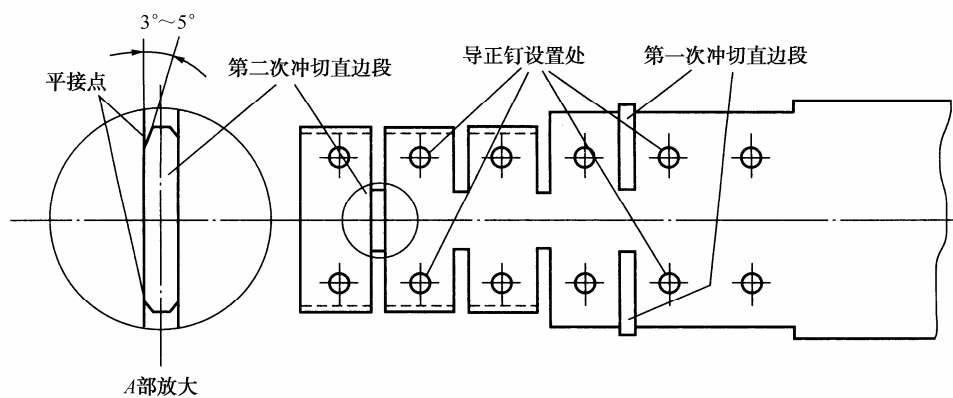


图 6-14 无载体的全桥连接

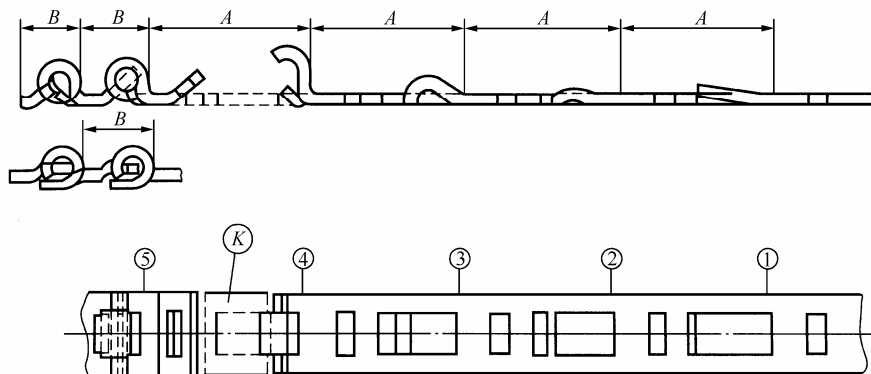


图 6-15 无废料排样

载体的数目与连接桥的形式、数目、位置 and 方向要根据零件的具体情况决定。

2. 零件与条料的连接位置

零件在条料上的排列与连接可采用零件的纵向、横向、斜向排列与纵向、横向连接的任意组合形式。其选择原则是，应该保证该连接处尽量处于条料的基准平面上，以保证冲压过程中不受零件成形的影响而一直处于正确位置上。例如，带有弯曲的工件，连接部位不宜选择在弯曲部分，而应选择在零件不进行弯曲的基准平面上。如果根据需要在弯曲部位设置了连接桥，则该处的弯曲应在切断连接桥后进行。在某些情况下，例如，圆筒件连续拉深，该类零件周围的材料都参与变形，此时可采用若干交错排列的弧形切口形成特殊的连接桥，以避免条料载体部位发生变形而影响工件的位置（如图 6-16 所示）。连续拉深的排样图中，如果采取了如图 6-17 所示的冲裁缺口连接桥，将影响工件在送进方向的位置及条料的横向定位宽度。在安排导料系统及确定后续工位凸、凹模的中心位置时应做适当的修正。可将各工位的凸、凹模做成独立单元形式，试模时其位置应能调整，并便于因拉深次数不足而增加新的工序。试模成功后，再将各单元的凸、凹模固定在模具内。

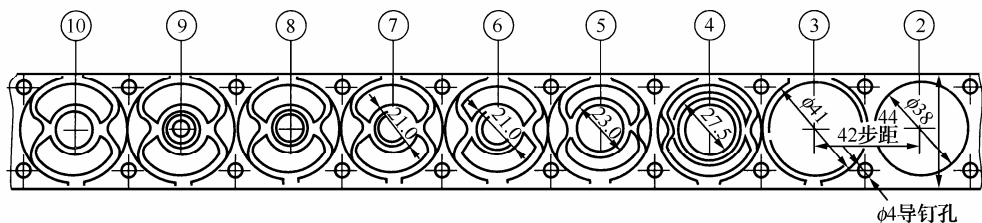


图 6-16 弧形切口连接桥

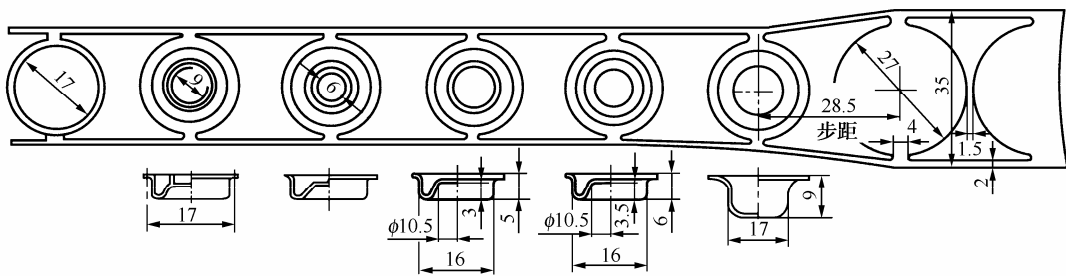


图 6-17 冲裁缺口连接桥

3. 载体与连接桥的数目与连接方向

设计零件与条料的连接除了按上述方法要正确地选择连接位置与形式外,还应正确地选择载体与连接桥的数目及后者的连接方向,以保证条料有足够的强度与刚性能平稳且正确地运送零件。

图 6-18 所示为横排、横连的单侧载体条料形式。连接桥处于弯曲件的不变形平面上。

图 6-19 所示为横排、横连的单侧载体条料形式。但该零件较长, 为了增加零件在条料上的稳定性而在零件中部非变形部位多安排了一条纵向排列的连接桥。

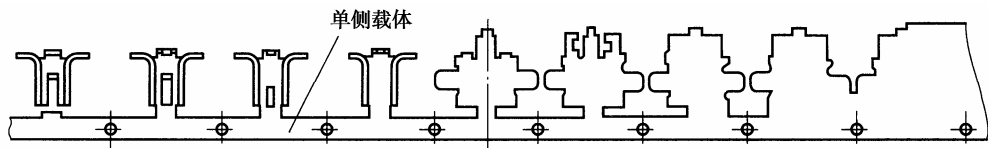


图 6-18 单侧载体条料形式

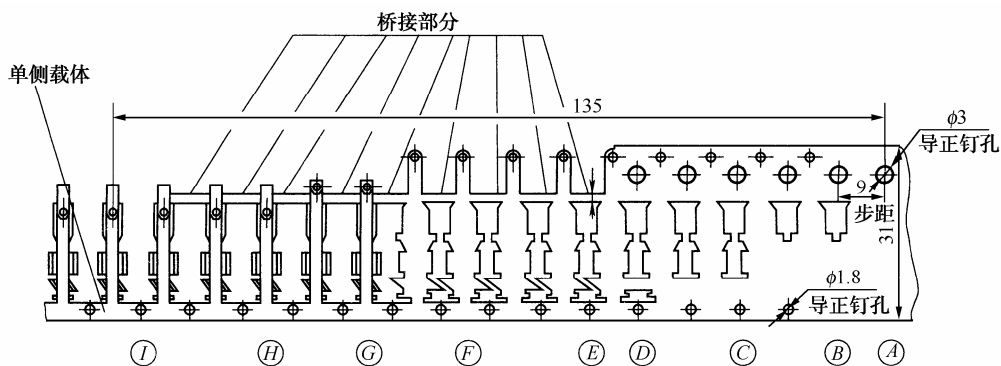


图 6-19 单侧载体伴有桥接的条料形式

为了增加零件在条料上的稳定性，亦可采用如图 6-13 所示的连接方式。

图 6-18 所示也是横排、横连的形式。为了增加零件在条料上的稳定性可采用一侧半载体的形式。所谓一侧半载体就是开始为双侧载体，后为单侧载体。因为其中一侧载体所接的连接桥设在弯曲部位而在弯曲卷圆前被切掉了。

也可以采用如图 6-14 所示横排、纵连无载体的条料形式。采用中间纵连躲开了两侧的变形部位。该件亦可采用单侧载体的纵排、横连（连接桥位置不变）形式，但这会减小条料的宽度而加大步距，从而降低条料的刚性（稳定性）和冲压件的精度并减小材料的利用率。

在某些情况下也会采取纵排、横连的条料形式（如图 6-20 所示）和纵排、纵连的条料形式（如图 6-21 所示）。

图 6-20 所示“卡子”连接桥只能位于变形最小处的零件中间部位，且不可能太宽。此种情况下如采用横排、纵连，将导致条料刚性严重不足而不能正常送进。

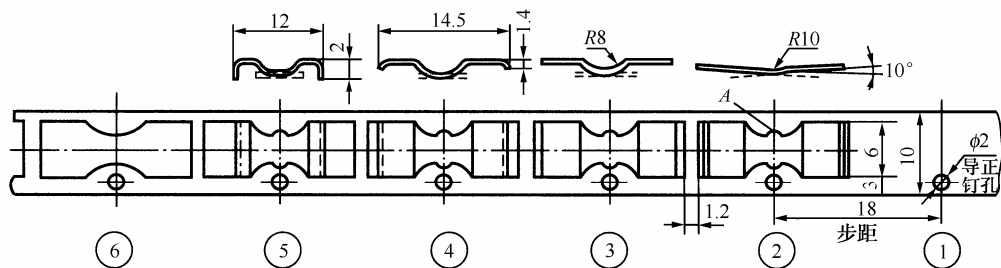


图 6-20 零件纵排、横连的条料形式

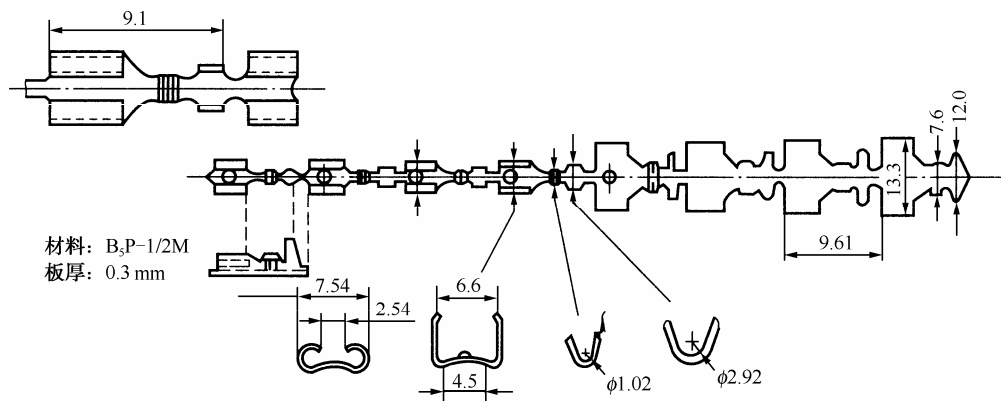


图 6-21 零件纵排、纵连的条料形式

4. 零件在条料上的排列方向

零件在条料上的排列方向应考虑下述几个方面的问题。

(1) 考虑条料的刚性及适宜的步距

零件在条料上采取横排的方式增加了条料的宽度，这无疑有利于增加条料的刚性和送进的稳定性，也有利于减小模具的工作面积。因此，在可能的情况下应尽量采用横排的方式。其缺点是由于步距缩小，对于一些小型零件，可能增加模具结构设计（从强度与加工角度出发）方面的困难。这个困难虽然可以用增加空步或加大步距的方法解决，但有时是得不偿失的。因此，宜进行综合考虑来决定最后方案。

(2) 考虑条料的顺利送进

采用纵排加大步距，减小了条料宽度，对于窄长的零件不利于送进（送料机构送进距离加大，条料在纵向的弯曲、横向的扭摆也使送进精度降低）。另外，当条料两侧不存在载体或平直面等用于送进的侧面导向时，将不利于避免条料的横向扭摆，有时还会阻挡送进，使条料发生纵向弯曲。

(3) 考虑零件的冲压方向

首先是采用正排或反排的问题。它将影响冲裁的毛刺方向、弯曲方向、成形方向等，并决定它们指向零件或条料的哪一面。从原则上讲，冲裁毛刺或成形、弯曲方向无论是向上还是向下，都应能实现。但是，如果选择不当，将增加模具结构的复杂性。无论零件对毛刺方向有没有要求，冲裁时，毛刺方向都宜向下（即凸模设在上模，凹模设在下模），最好位于弯曲及翻边内侧。否则，只能采用倒冲机构。弯曲与成形方向不仅应考虑模具结构的简便性，还应考虑便于条料送进。如弯曲方向向下，有可能实现条料的直接送进而不必先将条料抬起。如果该零件改为弯曲方向向上，则须采用反向弯曲机构，否则由于弯曲凹模上平面高出冲裁凹模平面，则必须将条料抬起后再送进。拉深成形时，一般应向下拉深并在每个型腔内设置顶料器。如向上拉深，由于条料的高速运动会使其产生跳动。

零件排列除存在正排、反排问题外，还存在着纵排、横排、斜排的问题。

零件的纵排、横排除涉及前述与条料的连接问题外，还应考虑零件的冲压方向。图 6-14 所示零件的弯曲如果不是沿纵向轴线翻转也不可能实现条料的直接送进。对于具有侧向孔或抽芯的零件，其抽芯或冲孔方向最好垂直于纵轴，以便简化模具结构设计。

(4) 考虑减小条料所承受的水平力

冲压过程中, 条料如果承受水平分力(如非封闭冲裁, 不对称的弯曲或成形)会使条料在水平方向难以稳定, 所以, 在进行零件的排列时应注意解决这个问题。图 6-22 所示的排样采用了双排加工的方式, 解决了条料的横向稳定性问题。

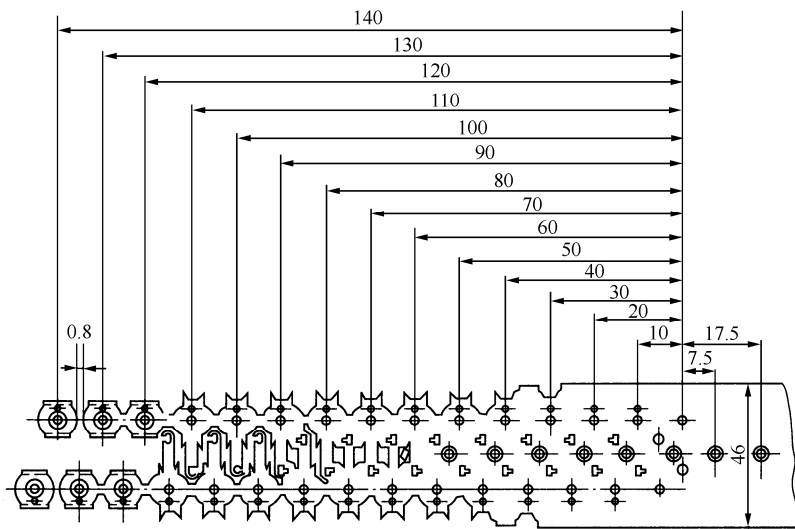


图 6-22 双排排样

(5) 考虑提高材料的利用率

级进模材料利用率一般较低, 在 50% 左右(一般模具的材料利用率可以达到 70%~80%)。材料利用率的高低是直接影响产品成本的主要因素之一。当采用斜排、双排或多排时有可能大幅度提高材料利用率, 图 6-22 所示采用了穿插排列的双排形式, 比单排的材料利用率提高了 33.7%。

图 6-23 所示是斜排及两个不同零件合并斜排在一个条料中以节约原材料的示例。

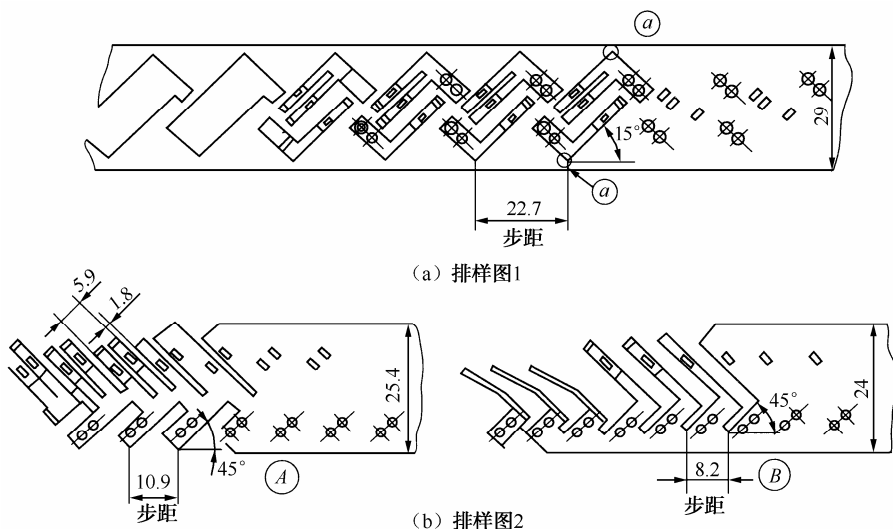


图 6-23 斜排示例

两种零件合并冲压时应注意两者的材料和所需数量应相同。它们最好属于同一产品, 以便于管理。当两种零件有配合关系时, 最好放在一起生产。

采用上述斜排、双排或多排的形式必须考虑生产批量、冲压设备的实际情况，还应考虑到这样做必然增加模具制造、维护、使用的复杂性，如果没有足够高的技术水平是不宜采用的。

(6) 考虑条料的轧制方向

级进模生产所用材料多为卷料。其轧制方向为纵向，如果冲压件对轧制方向有较严格的要求，则零件采用纵排、横排，斜排时必须照顾到上述要求，如最小半径问题及斜排产生的接触簧片扭曲问题。

6.4.2 条料的送进与定位

1. 条料的送进与定位方式

条料的送进可以采用自动送料或手动送料两种方式。前者适用于高速冲床或一般冲床，后者只适用于一般冲床。采用自动送料时需要有开卷机、校平机及自动送料机构。自动送料可分为滚子送料和夹持送料两大类。自动送料的送进速度取决于机床行程次数、模具结构、工序性质等，每分钟为几十米左右。一般仅做送进方向的粗定位，手动送料可采用侧刃（定距刀）做粗定位。级进模的精定位通常都采用导正销。

2. 条料定位面的设置

在排样图上，侧刃一般都安排在条料的第一工步，一般只设置单侧侧刃，采用双侧侧刃可以较好地修整条料的宽度。当级进模使用板材时，另一侧刃宜安排在条料的最后一个工步，以避免条料末端的浪费。侧刃切除的废料形状可以是直条，也可以根据冲压零件的外形安排。

导正销孔一般都在第一个工步中冲制，其位置应处于条料的基准平面（即冲压中不参与变形，位置不变的平面）上，否则将起不到定位孔的作用，导正销孔一般可选在条料载体或余料上（冲压零件位置以外的地方）；对于较厚的材料，也可选择零件上的孔作定位工艺孔，但在冲压过程中有可能改变该孔的精度，此时应在最后的工步中予以精修完成。

对于圆筒连续拉深，可不必设置导正销孔而直接利用拉深凸模进行导正。

6.4.3 工步设计

1. 工步的数目及各工步的加工内容

零件在条料上的排列与连接方式，以及用于定位的工艺缺口或孔确定以后，应进一步确定完成该零件所需的工步数目（含空步）及各工步的加工内容、各工步加工的尺寸与精度，考虑上述问题时应遵循下列几个原则。

(1) 简化模具结构

对于复杂的冲裁、弯曲或成形，宁可采用简单形状的凸、凹模和机构多冲压几次也不要轻易采用复杂形状的凸、凹模和机构。因为后者不仅难以制造和装配，也很难保证正常、稳定地连续工作，损害后也难以更换和维修。如对卷圆类零件，常采用无芯轴的逐渐弯曲方法。当采用芯轴时，由于高速冲压时机构动作的不协调性，则必须降低冲压速度。

(2) 保证冲件的精度

采用简单形状冲裁凸模做分步冲裁有可能造成冲裁精度降低。对于精度要求较高的冲裁尺寸，应尽量集中在一个工位，一次冲出，以避免由于模具位置误差及条料送进误差使零件精度降低。如果在一个工位上完成该尺寸的冲制确有困难，需要分两次冲成时，则应尽量缩短两个相关工位的距离。

弯曲件在每一工位的变形程度不宜过大，否则容易回弹和开裂，难以保证质量。

(3) 尽量减少空步

空步的设置不仅增加了相关工步之间的距离，增大了制造与冲压的误差，也增大了模具的面积，因此对空步的设置应采取慎重的态度。

只有当相邻工步之间空间距离过小，难以保证凸、凹模的强度，或难以安置必要的机构时才可设置空步。

2. 各冲压工序在排样图设计中的顺序

在一般冲压工序设计中，各种冲压工序之间的顺序关系已形成一定规律。但是在级进模排样设计中，其顺序常有不同。如果没有很好掌握它们的特点和内在关系，会使模具设计与制造走弯路，也可能造成冲压件质量超差，以致模具报废。

级进模排样图中各工序的顺序关系大致有以下几条规律。

(1) 遵循单工序加工的前后顺序，如先切边后拉深再修边，先切边后弯曲等。

(2) 对于纯冲裁的级进模排样，一般先冲孔，后切边，最后分离。当孔和外形都是多次冲切完成时，部分切边可提前安排与冲孔同时进行。这样可以减少工步数，但是应注意保证条料载体与零件连接处的强度与刚性足够。当冲压件上有窄筋时，应注意先冲小孔（短边）后冲大孔（长边），以避免材料“搭边”不足而引起不良后果。

(3) 对于冲裁弯曲的级进模排样，应先冲孔再切掉弯曲部位的废料，然后再进行弯曲。切除废料时，应注意保证条料的刚性和零件在条料上的稳定性。因为级进模的条料在冲压过程中不能翻转，因此应慎重选择弯曲件的基准平面。弯曲部位须经过几次弯曲时，应从最远端开始，依次向与基准平面连接的根部弯曲，这样才能避免或减少侧弯机构。不同截面的弯曲可同时进行，如图 6-24 所示。对于弯曲带附近的孔，如果先冲会造成孔的变形，应安排在弯曲后冲孔。

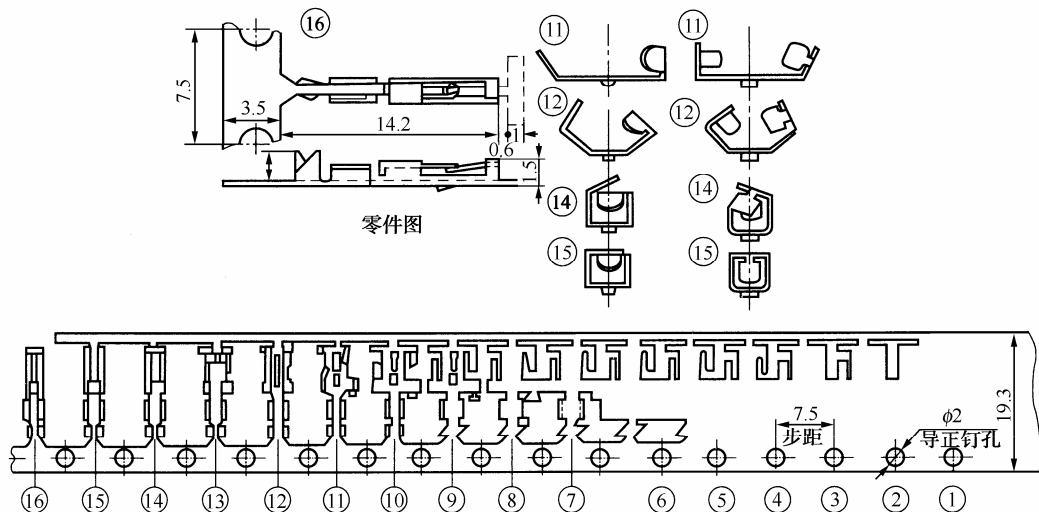


图 6-24 插孔弯曲级进模排样图

(4) 对于拉深弯曲的级进模排样，应先拉深，后修边，最后再弯曲，这样可避免拉深中的材料流动而造成的变形。对于带有材料流动的其他成形，如胀形、镦压等都应先粗切余料，后成形，最后修边。成形工序完成后再考虑在成形部位或附近冲孔、弯曲等。

(5) 在可能的情况下要注意使整个模具的压力中心尽量位于模具的中部，以免模具过大。在安排工步顺序时，也应尽量平衡侧向力。

(6) 为了在冲压件的收存、搬运、热处理、表面处理、装配等后续工作中,保持冲压件在冲压结束后的精度和便于自动化操作,在条料排样的末端对载体、连接桥的处理必须根据零件形状和二次加工要求做适当考虑。可在最终工步切下零件,使其落入冲床下面的收存箱内(带有弯曲等凸凹不平的零件不得含在凹模腔内,以免相互挤压而变形),剩下的载体部分卷起来或用切碎机切碎(也可在模内按步距切断,使其落入废料箱内),亦可将零件推到凹模表面用压缩空气吹走。有时可将零件成组切下,即模具每隔一定冲压次数做一次切断;也可根据需要不从载体上分离零件而是将其一起卷绕,保存待用。

3. 分段冲切中相关部位的相接

级进模冲裁中,常采用分段冲切废料的方式来获得一个完整的冲件形状。因此,如何处理好相关部位几次冲裁产生的相接问题将直接影响冲压件的质量。由于存在送进误差,其相接部位可能出现不平直、不圆滑、错牙等毛病。

分段冲切相关部位的相接可采用三种方式:搭接、平接和切接。

搭接方式一般不会产生遗留问题。

切接方式,它将使零件错牙或不光滑。设计排样图时,应使切断型面的圆弧大于先冲的圆弧。在角部冲切圆弧时亦可采用此种方法。这样做可以得到相接的(非相切的)圆弧交点,一般不影响使用,否则相接部位宜移到直线面上。

平接方式会使相接面不平直,生产中,应尽量减小连接桥的宽度。必要时可加大第二次直边冲切的长度、宽度,或以斜线相接,以避免零件直边出现凸起。

6.4.4 条料排样搭边值确定

条料排样搭边值如图 6-25 所示。

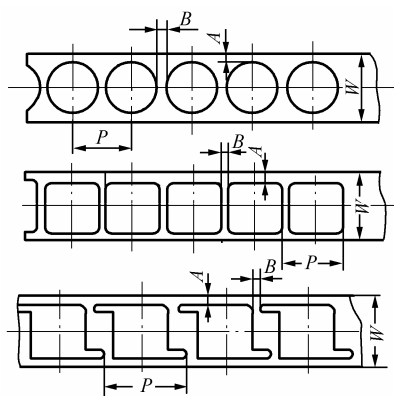


图 6-25 条料排样搭边值

条料排样搭边值确定方法如下:

(1) 根据零件料厚确定。

(2) 根据零件和材料的面积之比确定。

$$\text{所需材料的面积} = P \times W \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$\text{零件展开面积} = H \times L \text{ (mm}^2\text{)}$$

这两个面积的比值再乘以料厚即为搭边尺寸,这就是所谓的百分比计算法。

(3) 根据零件图形和材料厚度确定。

按排样图上的步距 P 和材料宽度 W 的比值查表确定。

用以上三种方法可以大致确定搭边的数值。但最近随着机床的加工精度的迅速提高和功能的迅速增多,为了节约加工材料,应使确定的搭边尺寸尽量小。对于特定的零件,在零件设计时要力求图形上无废料,并通过模具结构

的设计,进一步提高其效率。

6.4.5 条料排样图的设计步骤

(1) 按比例绘制出零件图。其比例最好采用 1:1,线条要细(最好不超过 0.2 mm),不标注尺寸,供绘制排样图使用。

(2) 按比例绘制出零件展开图。其比例最好与上述零件图一致。

(3) 按 6.4.1、6.4.2 和 6.4.3 节的顺序与内容完成排样设计。

(4) 完成排样图的绘制。

排样图的绘制是一项很繁杂的工作,采用下述方法可能会简便些。其绘制过程为:

- ① 在描图纸上首先绘制出一条基准线;
- ② 按已确定的步距绘制出零件在各个工步上的基准轴线;
- ③ 按已确定的工艺孔(导正销用)位置绘制出每个工步的工艺孔并绘制出条料轮廓线;
- ④ 以每个工步的基准轴线和工艺孔位置为基准绘制各工步零件工序图。

首先利用已准备好的零件图在最后一个工步处按已确定的排列方向复制完整的零件图。然后在倒数第二个工步处,利用已准备好的零件图复制出第二个完整的零件图,并用连接桥将零件与条料连接。接着再按照已确定的工步顺序与工步内容从后向前,逐工步地将零件一步一步地展开,绘制在相应的工步位置上。此时,可以利用已准备好的展开图,折叠成所需的形状。然后,参照这个自制样件进行绘图。也可以利用已绘制完的相邻工步的工序图,参照绘制。这样做的结果是,将使零件的成形部分一步一步地恢复原状;被冲掉的材料,一步一步地补上。最后将清除一切冲压痕迹而得到最初的空白条料。这种从已知的复杂结果追溯到最初的空白的方法,比较容易实现。而且,绘图过程也比较简单。如果我们顺着工步顺序去绘制排样图,从简单走向复杂,则很可能走弯路,使某步工序顺序颠倒或漏掉某步工序,以致最终达不到预定的结果。画排样图的过程,也是检查排样设计能否行得通的过程。

6.5 多工位级进模主要零部件结构设计

6.5.1 模架设计

模架应满足刚性和精度的要求。级进模在工作时,模架的微量变形便会使模具的动态精度与使用寿命降低,因此对精密级进模必须严格进行动态刚度考核,为了减小高速冲压时的振动,上下模座用四根滚动导柱导向,其直径尽可能选用得大些。导柱、导套配合过盈量为 0.02 mm,一般导柱、导套的圆柱度误差为 0.003 mm,导柱、导套轴心线相对于模具的垂直度误差分别为 0.01%、0.015%。当模具的整个上模重量大,上模与上模座的合计重量大于压力机滑块的重量时,可采用铝合金或塑料作为上模座。

6.5.2 凹模设计

对于冲裁凹模部分的设计,应将复杂难加工的孔形分解为若干简单的孔形,然后分步冲出。这些孔的刃口应尽可能地交叉延伸,这样就降低了前工步刃口与后工步刃口的接口要求,故应改尖角为圆角,改善热处理的条件,从而保证模具的质量。

拼块式凹模必须保证每一进距尺寸的精度要求,在制造过程中,进距尺寸精度是依靠装配的调整来达到的,选择凹模的拼合面应使其在修配调整时,不致影响刃口孔形尺寸。因此,必须绘制凹模拼合图,明确标明包括凹模拼合后的进距尺寸精度要求。

凹模拼块与下模座的固定方式是设计精密多工位级进模的关键。图 6-26~图 6-31 所示为各种凹模拼块的固定方式。

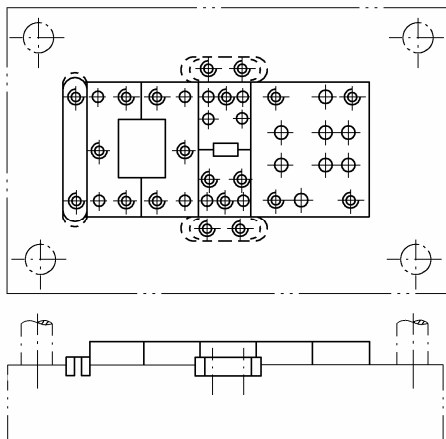


图 6-26 凹模拼块的固定方式一

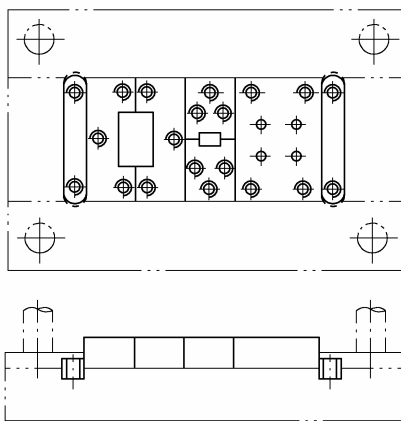


图 6-27 凹模拼块的固定方式二

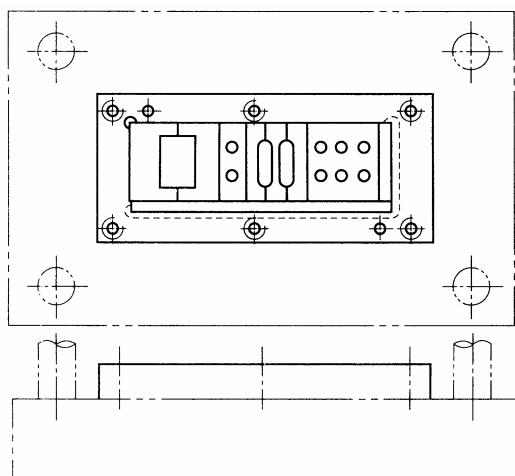


图 6-28 凹模拼块的固定方式三

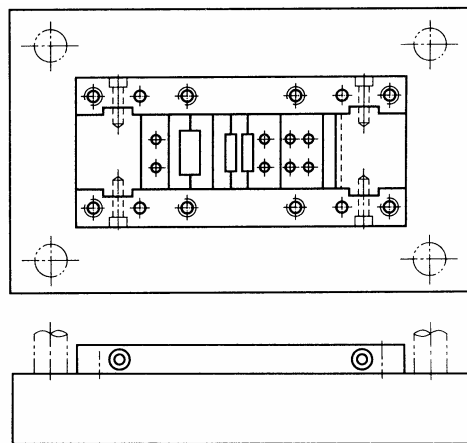


图 6-29 凹模拼块的固定方式四

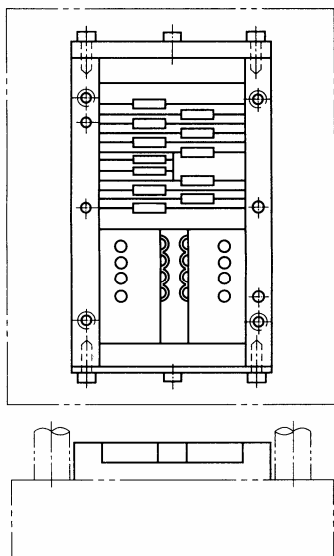


图 6-30 凹模拼块的固定方式五

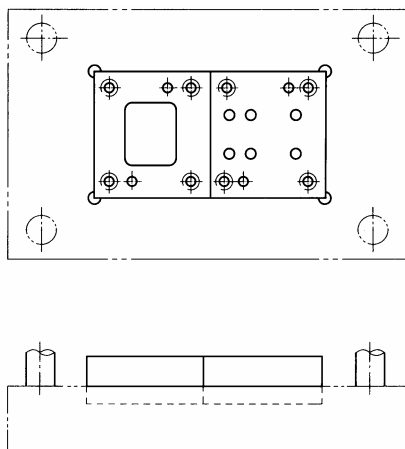


图 6-31 凹模拼块的固定方式六

6.5.3 凸模设计

级进模的冲裁凸模部分往往采用分解冲裁的方法, 首先要把条料上先后加工的各个部分正确地连接起来; 同时凸模的工艺性要好, 使其制造容易, 刃磨修整方便(如图 6-32 和图 6-33 所示)。

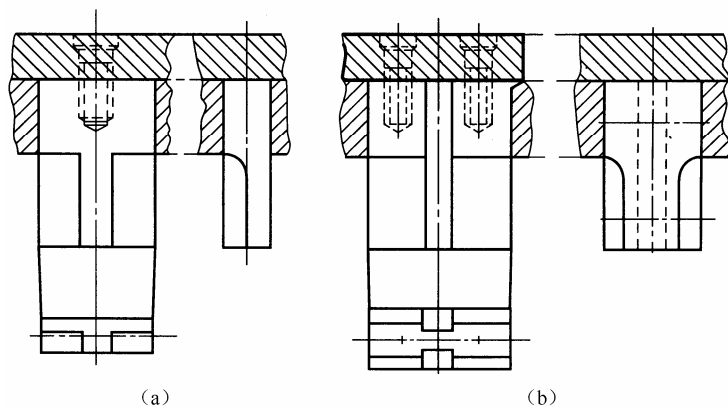


图 6-32 凸模的紧固形式一

有关相邻的凸模设置, 要确定其先后冲裁顺序, 以减少冲裁时引起的材料的相互牵引。设 t 为冲压材料厚度, 各凸模刃口高度要有 $(1/4 \sim 3/4)t$ 的高度差异。另外, 小的冲孔凸模要带台阶, 大的要在顶端钻攻固定螺孔, 如图 6-34 所示。起伏成形分两次较好, 如图 6-35 所示。局部成形做成嵌件的凸模或凹模工艺性好, 如图 6-34 和图 6-35 所示。当对冲裁凸模与某些弯曲、拉伸凸模的相对尺寸有要求时, 应考虑冲裁凸模刃磨后的尺寸变化, 设计时可以加长冲裁凸模伸入凹模的深度, 或使弯曲、拉伸凸模的安装基面可以进行修磨, 如图 6-36~图 6-38 所示。

对弯曲件最终落料的情况, 为了出件完好, 凸模伸入凹模的深度应超过洞口直刃口高度, 如图 6-39 所示。

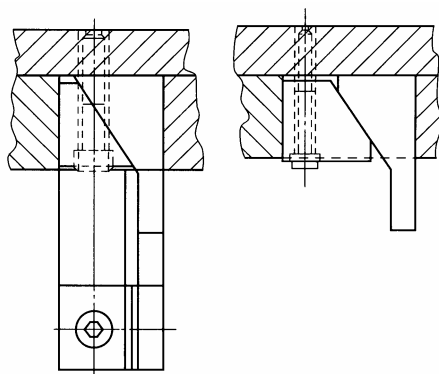


图 6-33 凸模的紧固形式二

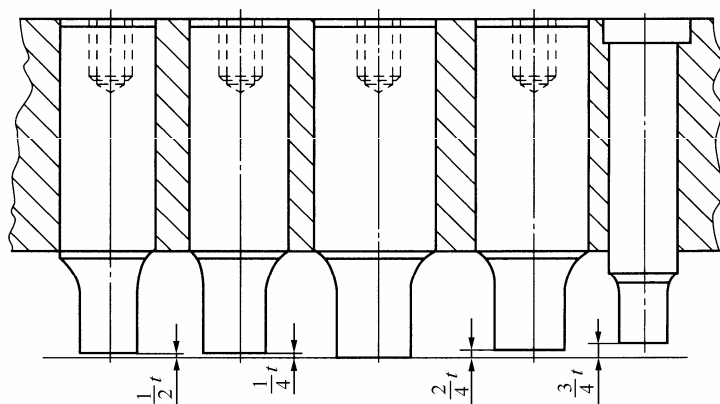


图 6-34 凸模刃口高度

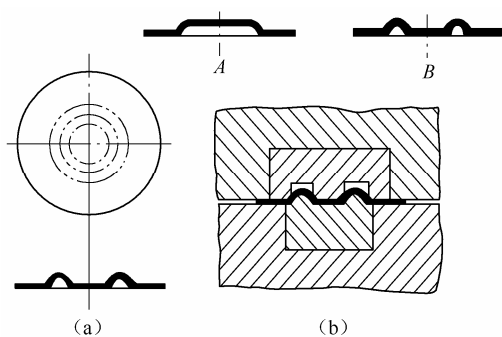


图 6-35 起伏成形分两次

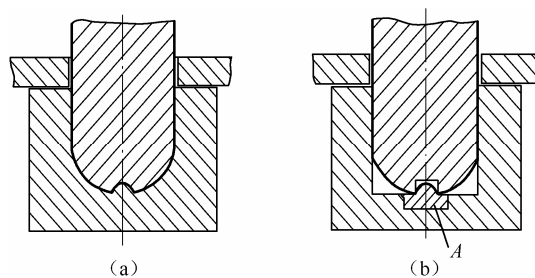
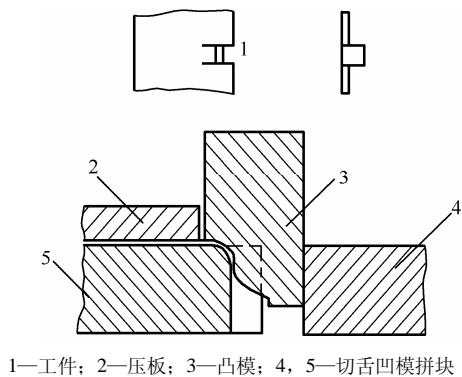
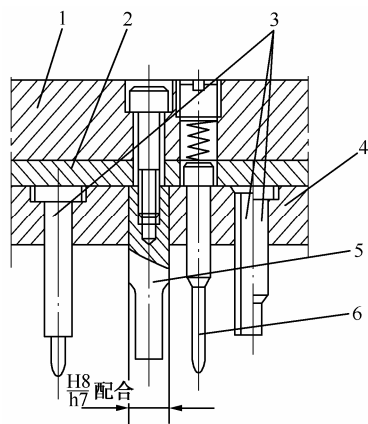


图 6-36 压形凹模镶件



1—工件；2—压板；3—凸模；4，5—切舌凹模拼块

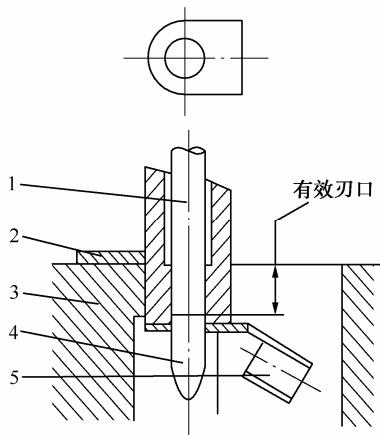
图 6-37 切舌凹模做拼块



1—模座；2—垫板；3—冲裁凸模；4—固定板；

5—弯曲凸模；6—导正销

图 6-38 弯曲凸模螺钉组装



1—弯曲凸模；2—导板；3—弯曲凹模；4—引导端；5—弯曲工件

图 6-39 弯曲凸模伸入凹模的深度示意图

6.5.4 螺钉和定位销设计

当模板厚度小于等于 10 mm 时，螺钉直径可取板厚的 50%；大于 10 mm 时，可取 40%。螺钉数量可根据凹模板的面积大小，选用 2~6 个，如图 6-40~图 6-41 所示。

图 6-40 (a) 用螺钉组装 2 块模板，螺钉旋入深度 E 为 $(1.2 \sim 2)d$ (d 为螺钉直径)；图 (b) 用螺钉组装三块模板；图 6-41 (a) 组装三块模板时，螺钉从上、下分别旋入，中间间隔 L 为螺钉直径的 1/2；图 6-41 (b) 中， A 为卸料板， B 为凹模， C 为垫板， D 为下模座，其硬度分别为： A 是 HRC30， B 是 HRC60， C 是 HRC45，所以用螺钉从上、下两个方向组装，长的紧固四块，短的紧固三块。

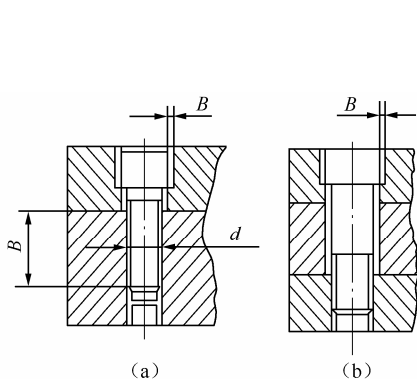


图 6-40 模板紧固形式一

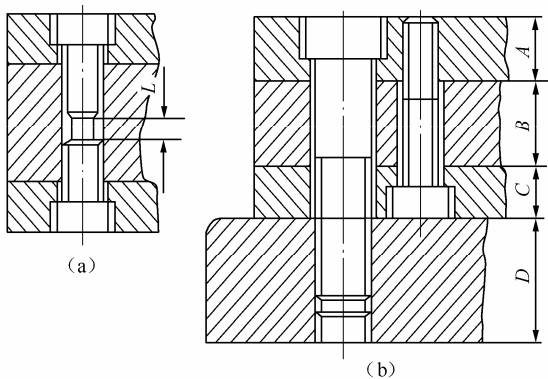


图 6-41 模板紧固形式二

图 6-42 所示为使用定位销的六种形式。图 (a) 为销钉打入两块淬硬模板经研磨后的孔内，这是最常用的方法；图 (b) 适用于盲孔；图 (c) 适用于一面压入的情况；图 (d) 是两块淬硬模板镶衬套后再一同钻铰销孔；图 (e) 是一块镶有衬套，销孔由上模板孔配钻铰；图 (f) 是三块模板装定位销的形式，另外，在图 6-42 中， B 约为 $9/4d$ ； A 约为 $3/2d$ 。

图 6-43 所示为螺钉紧固标准尺寸。

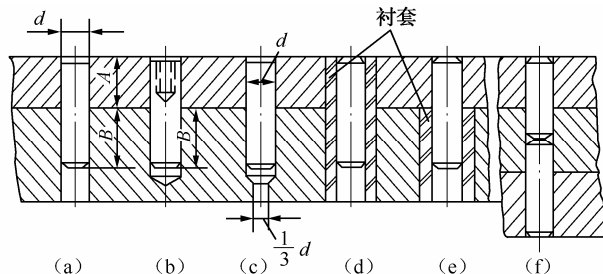


图 6-42 使用定位销的六种形式

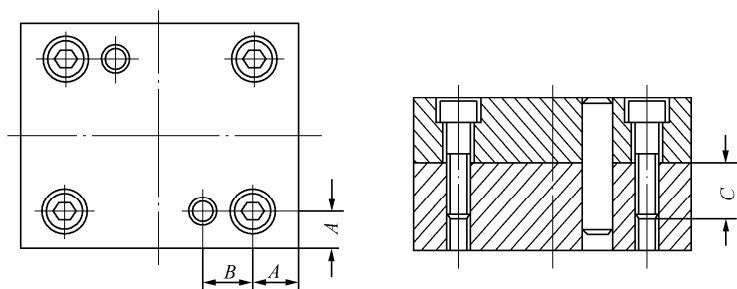


图 6-43 螺钉紧固标准尺寸

6.5.5 定位装置设计

1. 侧刃定位

在手工送料的级进模中广泛应用侧刃预定位。侧刃挡块除了可以作为条料的首次定位外，还可控制条料的送料进距。预定位用的侧刃长度尺寸应该做得比模具的实际进距大一些，一般在设计时加大 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ 。

采用单边侧刃的定位形式，最好在有侧刃一边设置侧压装置，使条料紧贴在无侧刃一边的导料板的导向面上，以保证导向正确。

工件的排样为对排时，因条料的宽度尺寸较大，通常应采用双边侧刃的定位形式，侧刃的基本形式如图 6-44 所示，供载体设在料宽的两侧时选用。

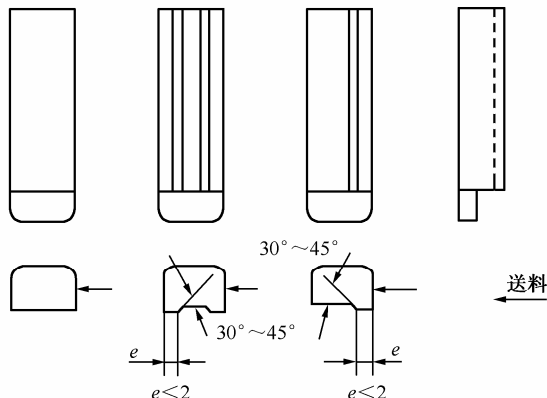


图 6-44 侧刃的基本形式

若载体处于条料中间,则侧刃刃口形状可以设计成工件相应部位的外形。图 6-45 所示为按工件的外形设计侧刃刃口形状。如需在侧刃的相邻工位上冲精密定位用的导正孔,则导正孔既可以是工件本身的孔,也可以是工艺孔。

侧刃的切料宽度一般取 $(1 \sim 1.5)t$ 为宜,但最小应不小于 1 mm 。

经侧刃冲切后的条料宽度与导向板之间的间隙为 $0.05 \sim 0.15 \text{ mm}$,薄料时取小值,厚料时取大值。

2. 导正销定位

用于精确定位的导正销,其标准尺寸范围如图 6-46 所示。其尺寸 d 应尽可能取大些。

常用的导正销有浮动式和固定式两种,如图 6-47 所示。图 (a) 为浮动导正销,其结构较复杂,精度差,但不易损坏。图 (b) 为固定导正销,其精度高,定位准确。两者可选用一种,也可混合选用。

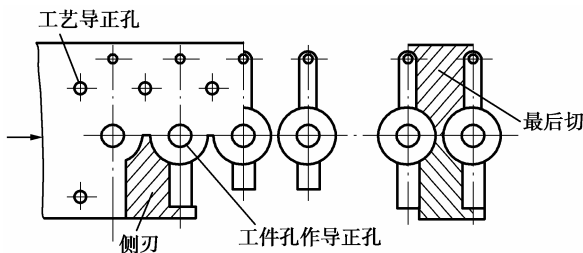


图 6-45 按工件的外形设计侧刃刃口形状

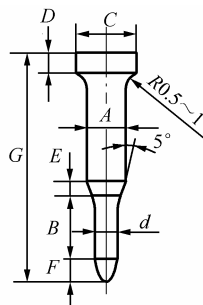
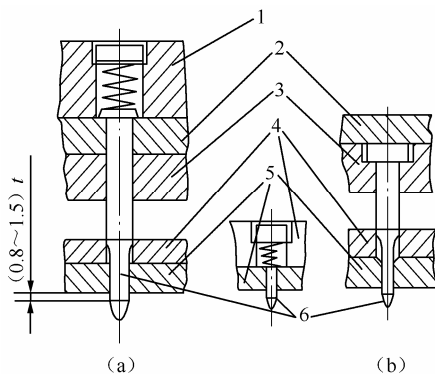


图 6-46 导正销标准尺寸范围



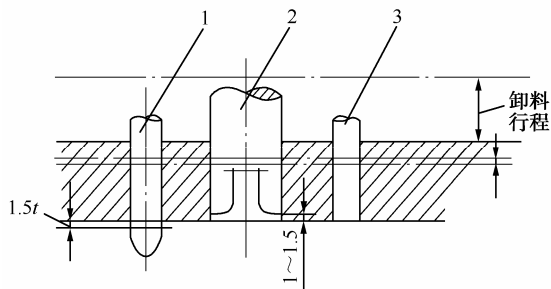
1—模座；2—垫板；3—固定板；4—垫板；5—卸料板；6—导正销

图 6-47 常用的导正销

导正孔一般都在条料的第一工位上冲出,导正销基本上都设置在第二工位上。可以设置成双排或单排,按工件形状及模具结构的具体情况而定。当条料宽度尺寸较大时可用双排,以保证定位精度。坯料经过弯曲(或拉深)后,一般无法用导料板进行左右导向,有时还可能出现部分条料有轻微歪斜和拉弯的现象。因此,要在适当位置增设导正销定位,比如在弯曲(或拉深)的最后工位处设置,这样还能防止蛇形送进及位移。

导正销应露出卸料板一段,如图 6-48 所示,通常取 $(0.8 \sim 1.5)t$ 。而其他凸模,如弯曲(或拉深)凸模应缩进卸料板 $1 \sim 1.5 \text{ mm}$,以保证条料在弯曲(或拉深)变形前已被卸料板压

牢, 确保成形质量。至于冲裁凸模高度的设计可以在弯曲(或拉深)过程中进行, 如前所述应具有一定的刃磨留量(做成高度可调节的结构形式)。导正销工作部分进入条料的深度应不少于 $0.5t$, 否则不起导正作用。如大于 $(1.5 \sim 2)t$, 当上模上升时, 条料可能随之一起上升而被拉变形, 对软、薄料更应注意。

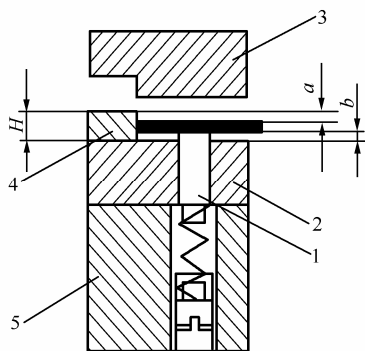


1—导正销；2—弯曲凸模；3—冲裁凸模

图 6-48 导正销露出卸料板

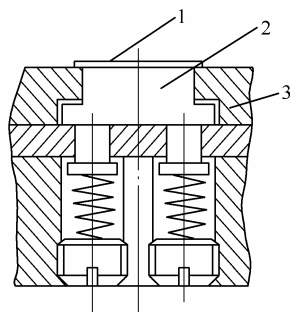
6.5.6 托送装置(托料块、托料销、托钉)设计

条料经冲压后, 有时贴在下模上, 因此需要设置托料装置将条料托起, 以利于继续送料。被托起的条料上平面应低于导料板一定的尺寸, 一般为 $(2 \sim 3)t$ 。如采用托料销(钉), 应做成偶数个。有关托料装置选择如图 6-49~图 6-52 所示。



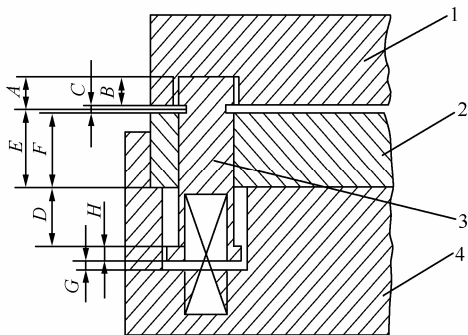
1—托料钉；2—凹模；3—卸料板；4—导料板；5—下模座

图 6-49 托料钉托料



1—条料；2—托料块；3—凹模

图 6-50 托料块托料



1—卸料板；2—凹模块；3—托料销；4—模座

图 6-51 托料销托料

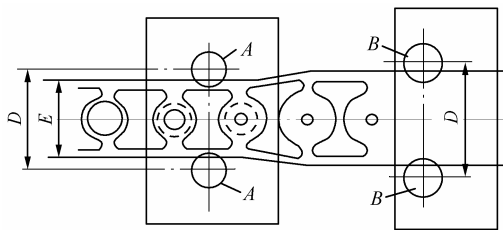


图 6-52 托料销(钉)做成偶数个

6.5.7 卸料装置设计

模具的精度以及使用寿命与卸料板的导向精度和强度有极大关系。卸料装置主要是由卸料板、卸料弹性元件、卸料螺钉和卸料板导向件组成的。卸料板除了具有进行卸料和防止由于冲压力作用而引起材料横向滑移的功能以外,还可对多凸模进行精密导向和有效的保护。凸模与卸料板型孔成精确的动配合,其径向配合间隙一般取 $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ (双面)。同时凸模与卸料板具有一定的高度差。图 6-53 所示为凸模与卸料板装配的三种不同形式,其中图(a)用于较大尺寸的圆形凸模,图(b)、图(c)用于小直径凸模。

卸料板本身的导向有三种形式。第一种是卸料板本身装向导柱,导套则装在上模固定板上,如图 6-54 所示。第二种形式如图 6-55 所示,即卸料板利用模架上的导柱进行导向。

第三种形式如图 6-56 所示,采用小导柱把卸料板、凸模固定板、凹模固定板连成一体。小导柱应设置在凸模固定板的两边且对称,导柱与导套的配合间隙不大于 0.005 mm (双边)。

卸料板上装有均匀分布的强力弹簧以获得必要的压料力和卸料力(弹簧的截面以矩形为好)。在上模刃磨时既要使卸料板从凸模上卸下卸料板,又要使其低于凸模平面,卸料机构可以设计成如图 6-57 所示的形式。

卸料板弹簧的另一种安装形式如图 6-58 所示。

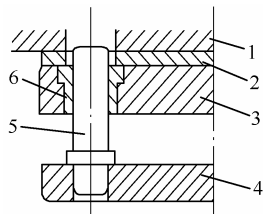
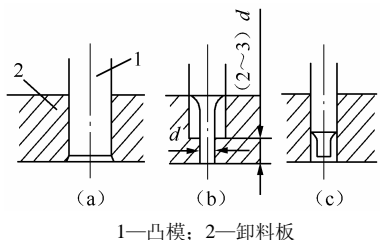


图 6-53 凸模与卸料板装配的三种不同形式

图 6-54 卸料板本身的导向形式 1

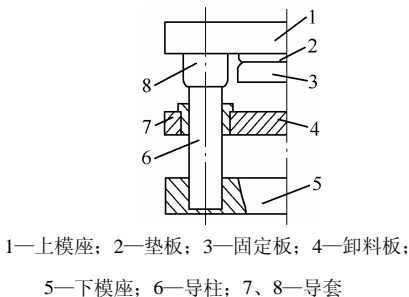


图 6-55 卸料板本身的导向形式 2

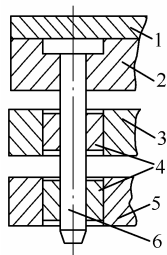
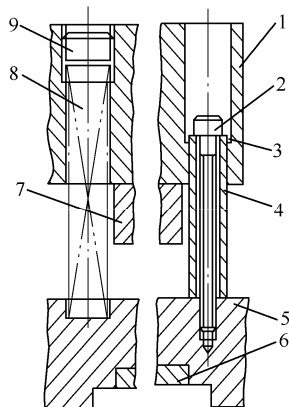


图 6-56 卸料板本身的导向形式 3

当条料的料首或料尾处于凹模与卸料板之间的一端时,会引起卸料板工作不平稳,图 6-59(a)所示为料首引起的不平衡,所以应在卸料板的适当位置设平衡钉,如图 6-59(b)所示。

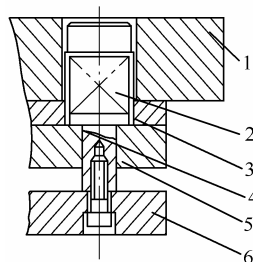
卸料板应进行调质处理或在工作面部位局部地拼装淬硬的镶板。其硬度一般以 HRC40 为宜。在卸料板制造过程中,还可以采用环氧树脂浇注的方法来保证凸模与卸料板之间形成精密配合间隙。



1—上模座；2—内六角螺钉；3—垫片；4—套管；

5—卸料板拼块座；6—拼块卸料板；7—固定板；8—弹簧；9—螺塞

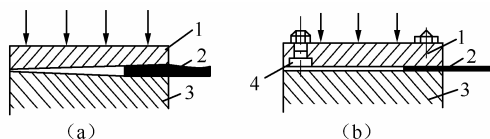
图 6-57 卸料机构形式



1—上模座；2—强力弹簧；3—垫片；

4—卸料销；5—凸模固定板；6—卸料板

图 6-58 卸料板弹簧形式



1—卸料板；2—条料；3—凹模；4—平衡钉

图 6-59 设平衡钉形式

6.5.8 斜楔与滑块装置设计

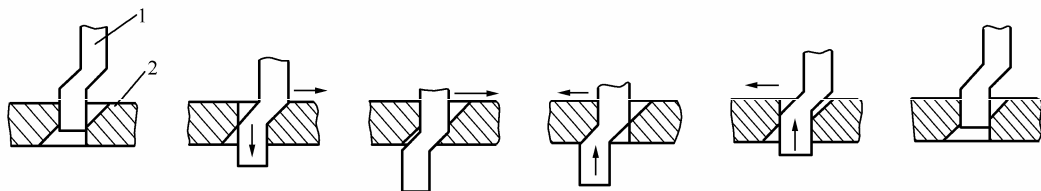
压力机垂直向下运动，通过斜楔驱动器使模具上的滑块产生各个不同方向的水平运动，甚至可以逆向冲压，从而完成工件的弯曲成形、横向冲孔、出件等工作。

设计斜楔与滑块机构时，对运动方向、行程大小、动作时间、停歇周期及卸料板行程等应根据需要进行设计。机构的复位通常有两种方法，一种用弹簧，另一种是用驱动与复位制成一体的双动式传动斜楔。斜楔上下移动能强制滑块左右移动，其原理如图 6-60 和图 6-61 所示。

斜楔驱动器的驱动角一般与垂线成 $40^\circ \sim 50^\circ$ 。它随滑块所需移动距离而异。

这种斜楔驱动装置对冲压厚料及周边较长的凸模卸料是有效的，其缺点是使模具总装的轮廓尺寸增大，如用于小型的级进模，可能要增设 1~2 个空位。

滑块后退时要与卸料板等零件的动作协调。



1—斜楔驱动器；2—滑块

图 6-60 斜楔与滑块机构相对运动原理示意图

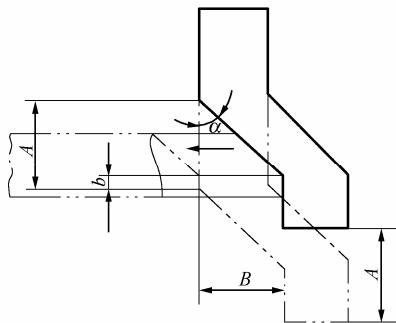


图 6-61 斜楔与滑块装置

6.5.9 其他装置设计

1. 微调装置设计

在多工位级进模中，凸模较多，如压印、弯曲、翻边、翻孔、拉深等各工位的凸模高度需保持一定的相对尺寸，有时需做微量的调节，如前所述，冲裁凸模刃磨后会影响到各凸模的相对高度，因而必须调节其高度。还有弯曲工位弯曲间隙的大小，有时也需做微量的调节。

(1) 垂直微调装置（如图 6-62 所示）

通过右翼螺杆的正或反向旋转，使斜楔向左或向右移动，以调整悬挂式凸模垂直方向的位置。

(2) 水平微调装置（如图 6-63 所示）

滑块通过前端带偏心轴的螺杆旋转进行轴向移动，以调整水平位置间隙。

以上两种微调装置的微调量一般在 0.1~0.15 mm 范围内。

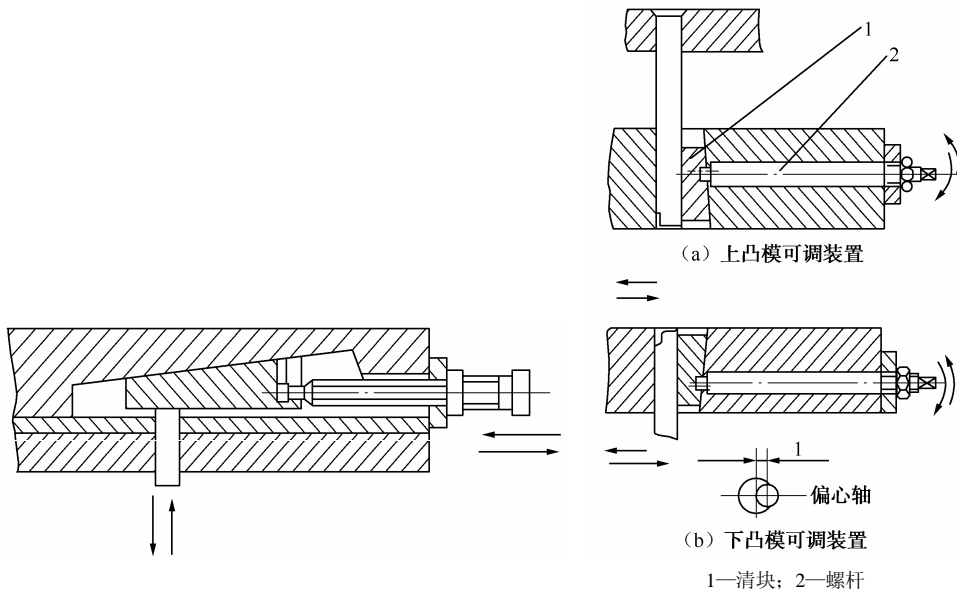


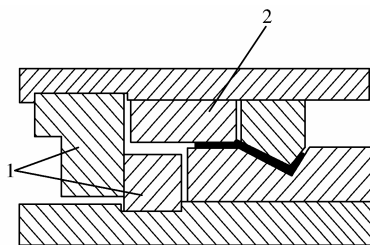
图 6-62 垂直微调装置

图 6-63 水平微调装置

2. 稳定装置设计

成形力的不平衡，会对成形凸模和凹模产生侧压力，故在设计这种模具时，应装有稳定

装置。图 6-64 所示是在不平衡成形工位上装上稳定块的例子。图 6-65 所示是用安装定位键的方法来防止凸、凹模的移位。



1—稳定块；2—卸料板

图 6-64 不平衡成形工位装上稳定块

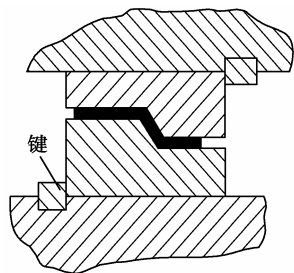


图 6-65 不平衡成形工位装上定位键

3. 子模架应用

为了降低模具的制造费用，以及便于调整维修和更换零件等，可在大的滚动式模架内安装子模架。图 6-66 所示 A、B、C、D 为子模架的形式。

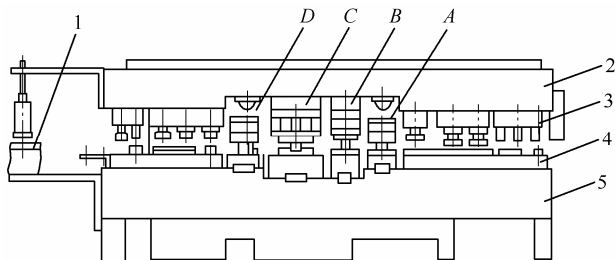
4. 模具表面上工件及废料的排出设计

在任何模具的冲压过程中，绝不允许有工件或废料停留在卸料板与凹模表面之间，否则会影响模具正常工作。最常用的排出方法是利用压缩空气，如图 6-67 所示。

- (1) 在凸模上钻通气孔，如图 6-68 所示。
- (2) 在下模有关零件上钻气孔，如图 6-69 所示。
- (3) 装有压缩空气嘴吹出，如图 6-70 所示。

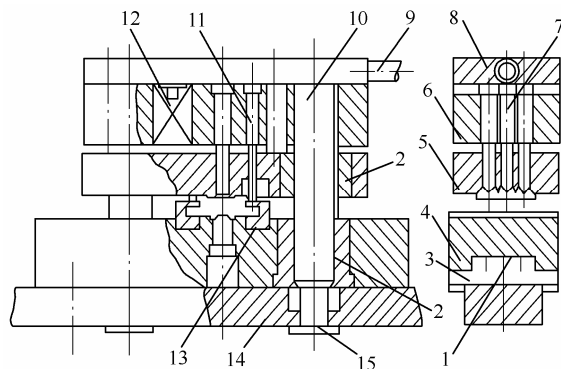
5. 防止工件及废料上升的措施

- (1) 在凸模内装有顶料销，如图 6-71 所示。
- (2) 可在凸模中心钻 2.5~0.80 mm 的气孔，利用压缩空气的压力将工件或废料与凸模分离。
- (3) 对于细长凸模，尤其是深拉深冲裁凸模，可将凸模端部做成如图 6-72 所示的锥角形式。
- (4) 对于大的冲裁凸模，可采用如图 6-73 及图 6-74 所示的结构形式。
- (5) 对于较薄的材料冲孔，可将凸模刃口面做成斜刃，这样有助于防止废料上升。
- (6) 当工件料厚为 1~3 mm 而精度要求不高时，采用大间隙冲裁，可以减少凸、凹模磨损，延长使用寿命，但很难阻止废料的上升。在凹模洞口用手工研磨出一段很小范围的喇叭口，可以有效地防止废料上升。



1—送料器；2—上托；3—凸模板；4—凹模板；5—底座

图 6-66 滚动式模架内安装子模架



1—凹模；2—导套；3—垫板；4—凹模固定板；5—卸料板；6—凸模固定板；7—凸模；8—垫板；9—气管；10—导柱；
11—导正销；12—卸料弹簧；13—导料板；14—键；15—顶块

图 6-67 利用压缩空气排出方法

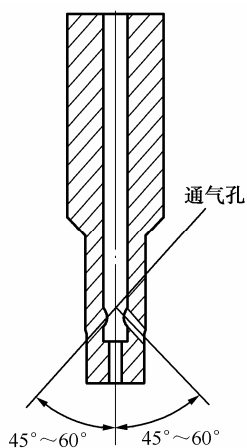
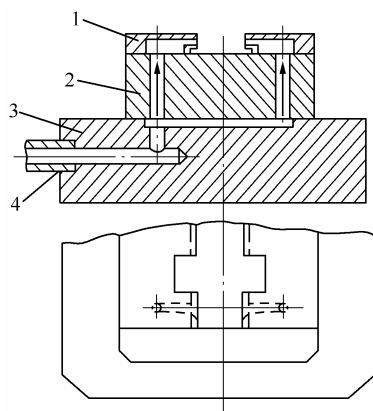
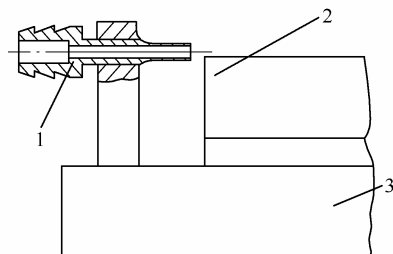


图 6-68 在凸模上钻通气孔



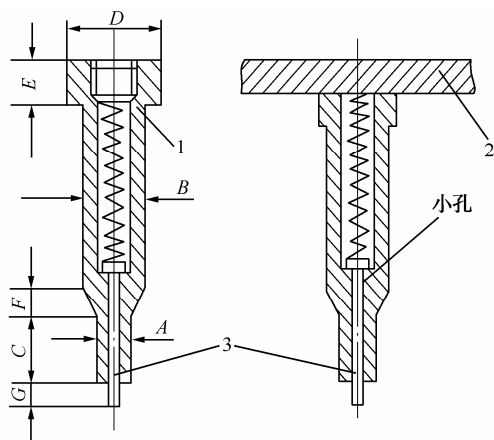
1—导料板；2—凹模；3—底座；4—进气管

图 6-69 在下模有关零件上钻气孔



1—气管；2—凹模；3—底座

图 6-70 装有压缩空气嘴吹出



1—螺塞；2—垫板；3—顶料销

图 6-71 凸模内装有顶料销

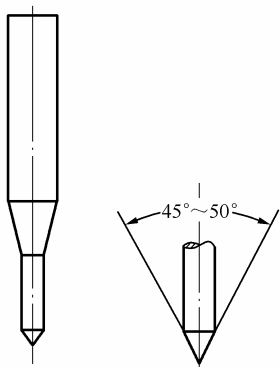


图 6-72 锥角形式

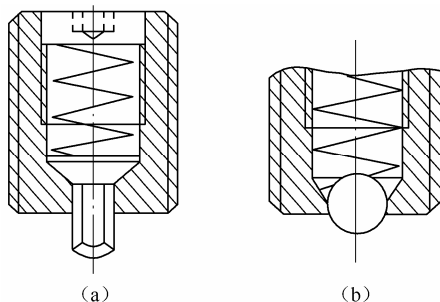


图 6-73 顶料形式一

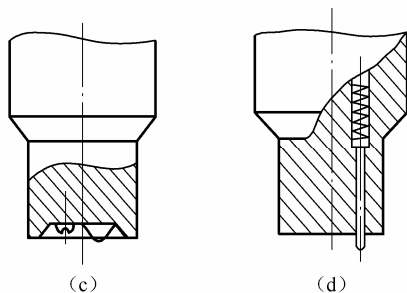


图 6-74 顶料形式二

6.5.10 自动检测保护装置设计

自动检测保护装置的作用，就是能自动排除冲压过程中发生的故障，保证安全生产。

自动检测保护装置的传感方式，有接触传感式和非接触传感式两种。

(1) 检测材料送进的保护装置：大多数场合是利用误送时，导正销不能进入导正孔即自动切断线路，压力机停止运转。

(2) 检测原材料的自动保护装置：当材料厚度或宽度超差、弯曲或起拱及卷料用完时，自动保护装置都能发出信号。

(3) 检测出件的自动保护装置：用以检测工件的正常溢出或计算件数。

6.6 多工位级进模尺寸计算和合理标注

多工位级进模中，往往包含多种类型的冲压工序，其模具型面工作尺寸的计算和标注与单工序模具相比既有相似点也有不同点，尤其是冲压件的外形冲裁，区别较大。这是由其分段切除外边（废料）而非直接落料所致。

6.6.1 级进模基准型面的构成与意义

基准型面即直接表达了冲件尺寸的模具型面。落料尺寸的基准型面在凹模上；冲孔尺寸的基准型面在凸模上；位置尺寸，孔在冲件上位置尺寸的基准型面在凸、凹模构成的组合面上，孔之间位置尺寸的基准型面在相关凸模构成的组合面上。

多工位级进模中,在同一工位完成冲孔、落料,其基准型面与上述情况一致。但在多数情况下,落料尺寸和位置尺寸(有时也包括冲孔尺寸)不在同一工位完成,而是采用分步冲裁的方式,且外形冲裁冲下的也不是冲件,而是废料,即采用了切边方式。这种情况下基准型面的构成和意义就会有所不同——原来由凹模构成的基准型面现由切边凸模代替(可将其视为“假想凹模”型面);对于沿送进方向的上述尺寸,当凸模不在同一工位时,需将凸模型面移位后才能构成假想凹模型面(假想移动距离为工位差值与步距的乘积),得到的假想尺寸,即基准型面尺寸。这种“移位”的计算方法也适用于基准型面仍在冲孔凸模上的冲孔尺寸和孔间距尺寸。

综上所述,级进模各种尺寸(整体落料除外)的基准型面都位于凸模上,其中的许多组合面在尺寸标注和加工上都有困难,因而常采用“尺寸转换法”将基准型面尺寸改注在凹模上。

6.6.2 级进模凹模型面尺寸计算

“尺寸转换法”的计算步骤可依常规进行:

(1) 判定冲压件尺寸类型,按规定标注公差;

(2) 计算基准型面尺寸;

(3) 将尺寸转换到凹模上,得到凹模型面尺寸。当基准型面需经凸模移位构成时,所得尺寸为假想尺寸,需将型面移动一定的距离(即工位差值与步距的乘积)才能得到凹模型面尺寸。

6.6.3 多工位级进模型面尺寸的标注方法

由于多工位级进模型面尺寸繁多,用通常的尺寸线法难以表示清晰,且不利于精密机床坐标加工,因此常采用坐标法标注各有关尺寸。

1. 整体凹模(凸模固定板、卸料板)

(1) 选择坐标原点。为避免出现负的坐标值,坐标原点应选在凹模板边缘相互垂直的两加工基准面交点上,也可以中心线为基准双向标注。

(2) 按已确定的导正销孔位置标出它们的坐标,可选择其中的几个(在型腔尺寸较多处)为子坐标。

(3) 按母坐标或子坐标标注各型腔坐标尺寸。

(4) 各坐标尺寸公差可统一标注,如用坐标尺寸小数点后的位数表示公差等级。

2. 并排式凹模

其尺寸标注方法类似于整体凹模,可选择各凹模块的拼装面或导正销孔作为子坐标。

3. 镶块式凹模

镶块式凹模结构是在整体凹模板上开设镶块或镶拼块安装孔。其尺寸标注方法是标出安装孔各安装面坐标尺寸,各镶块按坐标法或尺寸线法标出尺寸。这样做会产生一定的累积误差,但可以调整。

4. 磨削拼块组装式凹模

其尺寸标注方法是选择各拼装面做子坐标,在各拼块上以子坐标原点为基准标出该拼块各型面的坐标尺寸。各拼块的安装定位面坐标在母坐标系内标注。

6.7 精密多工位级进模结构特点

一副复杂的级进模是由很多个工位，很多个凸、凹模构成的。它用于对带料进行自动化连续生产，往往用在高速冲床上。因此，怎样保证模具的精密性、冲压件的精度、条料的顺利送进以及如何防止模具在使用中的意外损坏，如何方便维修，延长模具的使用寿命，就成了模具结构设计中的重要问题。这其中任何一个方面处理不好，都可能导致模具设计的失败。在精密级进模的结构设计中应处理好以下几个方面的问题。

6.7.1 模具的精密性和可靠性设计

级进模是一种多冲头模具。到目前为止，国外已多达 50 多个工位，国内彩色电视机上所用插孔级进模工位也达 37 个，所用凸、凹模及其镶块数量达上百个。如何保证这么多凸、凹模在每一个工位的静态和动态精度是一个很重要的问题。它涉及各工位的凸、凹模尺寸和位置精度以及冲压机床和模具本身的刚性。这些问题在设计模具结构时就应充分考虑并与加工手段密切联系起来。

1. 模具结构形式

(1) 整体式结构

整体式结构即凹模、凸模、固定板等均为整板。当具备精密加工机床时，用数控线切割机做各工位凹模型腔、凸模及凸模固定板与卸料板上安装孔的粗加工，用坐标磨床或精密电火花机床做精加工（也可用高精度的线切割机直接做精加工）。

不具备精密加工机床时，可采用普通数控线切割机组合加工凸模固定板、卸料板、凹模型腔。尺寸按凸模固定板的尺寸，卸料板、凹模型腔与凸模的间隙尺寸用人工研修达到，以保证同心度。

整体式结构适用于工位少的级进模。

(2) 并列式及单元式结构

并列形式的级进模是将各工位的凹模或凸模固定板分别加工后按步距固定在安装座上，采用检验合格的样板调整步距。此种方法适用于不具备精密加工机床的情况。图 6-75 所示为并列式凹模结构。单元式级进模是将各工位模具做成独立单元形式并组装在同一模内。适用于较大型的级进模，步距调整类似于并排式。

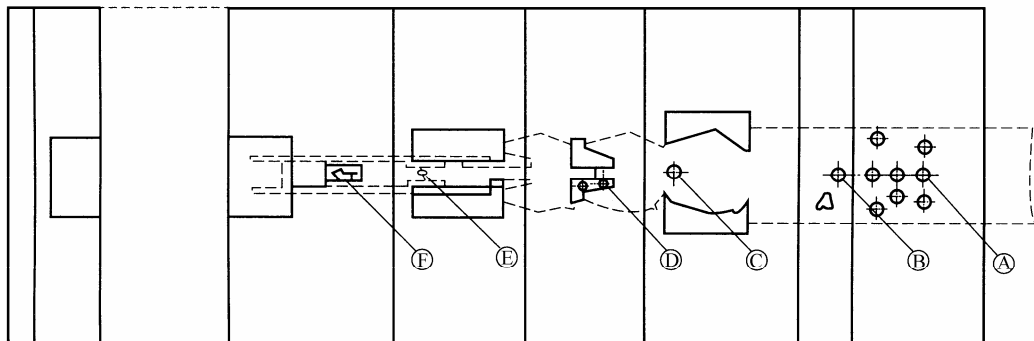


图 6-75 并列式凹模结构

(3) 镶块式结构

镶块式结构类似于整体式,但不是在凹模板或凸模固定板、卸料板上直接加工出型腔,而是仅加工镶块或拼块的安装孔——冲裁或成形部分做成镶块或拼块,以利于凹模座或凸模固定板的加工。镶块或拼块(包含凸模)应尽量采用成形磨削以利于保证精度。此种结构形式易于维护和返修——只要更换镶块、拼块即可。为了保证上、下模的同心度及步距尺寸,常在镶块、拼块或凸模安装孔内增加衬垫,可通过修磨、更换衬垫来调整上述尺寸。

(4) 磨削拼块组装式结构

这是多工位级进模的主要结构形式,具有能进行高速加工、高精度冲压和模具寿命长的特点,适用于工位多的级进模。它将冲裁各部分的型腔(含凸模固定板安装孔、卸料板凸模导向孔)及弯曲、成形的镶块安装孔全部分解成适于磨削成形的拼块。拼块可采用成形磨床、仿形磨床或经修整砂轮型面的精密平面磨床加工。拼块组装于凹模座板上,形成完整的凹模。此结构便于做精密加工,维护、更换也容易。与线切割相比,它加工时间较长,也比具有圆形安装面的镶拼结构复杂,但比具有非圆形安装面的镶拼结构容易加工(不需加工安装孔)。拼块组装面大多采用直面——用平面磨床即可加工。磨削拼块组装结构如图6-76所示。

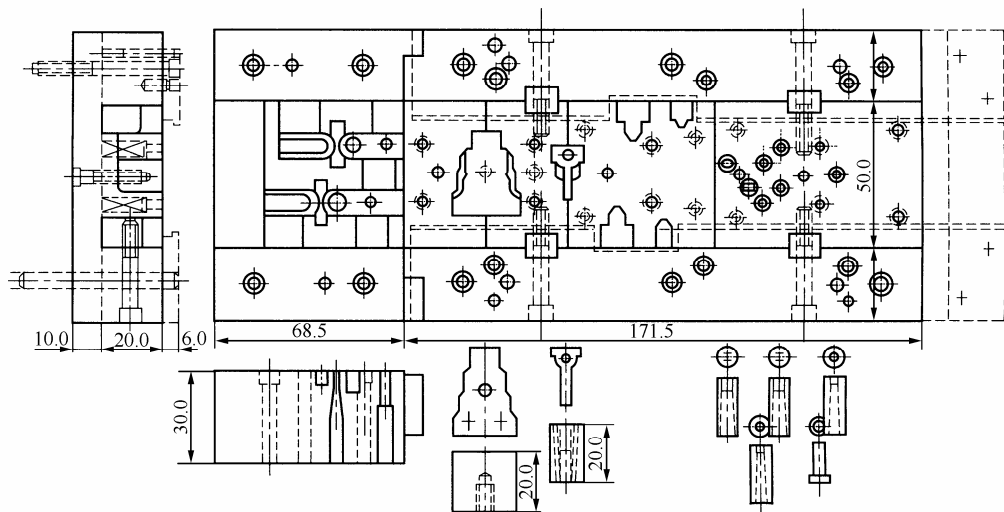


图 6-76 磨削拼块组装结构

2. 凸模的可靠性

凸模的位置尺寸在级进模的结构精度中是一个最不稳定的因素,要想使模具可靠而安全地工作,在模具结构设计中必须注意以下几点。

(1) 正确地选用凸模结构和装配形式

级进模中的凸模装配不宜采用尾部铆接方式,否则将影响它与凹模型腔的同轴度;用螺钉侧向紧固的方式也应避免采用,除非有较精密的安装定位面。凸模固定板宜淬硬。

(2) 考虑卸料板的导向可靠性

级进模的卸料板一般都对凸模起保护和导向作用,与凸模有较精密的配合关系。如果卸料板在工作中发生横向挤压,则必定破坏凸模的位置。

卸料板产生横向挤压的主要原因和消除办法如下。

卸料板在制造和安装后的水平度不良。应注意加工与装配精度,并设置卸料板导向系统。

冲裁间隙较大时,凹模孔内的冲片会由于凸模的抽拔作用反弹到凹模平面上,从而造成卸料板的倾斜。为防止冲片的反弹,可在凸模内设置弹顶销或开通气孔——采用自然通气或吹压缩空气的办法。

条料的首端(或尾端)进入模具时会引起卸料板的倾斜。可在卸料板与条料不接触处设置四个厚度略小于材料厚度的限位块来防止卸料板倾斜而对凸模造成侧向挤压。

由于冲压力和卸料力的压力中心选择不当,卸料板倾斜。宜将成形部分和冲裁部分的卸料板分开设置,并校核压力中心。

(3) 设置背块

对于承受侧向力的凸模(如单面冲裁、弯曲、成形凸模)应设置背块。

(4) 设置行程限位块

为防止因某种原因引起的合模高度不当或载荷偏心损坏凸模,应设置行程限位块。

6.7.2 条料的正常送进及其精密性设计

1. 保证条料送进精度设计

用级进模冲压工件时,条料的送进精度及其在冲压瞬间的动态稳定性是影响冲件尺寸精度的另一个重要方面。为防止条料在冲裁、弯曲、成形时由于不对称冲压产生的横向滑移和逃逸,应设置强力卸料板,采用比卸料力大得多的弹性压料力。在开模状态进行条料送进时,一般是采用导正销做精密定位来控制送进精度。

(1) 导正销的设置与工作原理

级进模工作时,应首先在条料的基准平面上冲制出导正销用定位工艺孔。然后进行条料送进,靠定距刀(侧刃)或自动送料机构完成粗定位。在第二工步设置导正销。导正销随上模下行,插入工艺孔做精定位,保证条料的送进精度,同时冲出第二个工艺孔。两个工艺孔之间的距离即为步距。其后,条料再送进,用第二个工艺孔定位,冲制第三个工艺孔。以此类推,工步二的导正销位置与大小决定了其后每一步的送进精度。

导正销设计中,其尺寸 d_1 应等于或略小于工艺孔孔径 d 。导正销的形状及尺寸设计如图6-77所示。

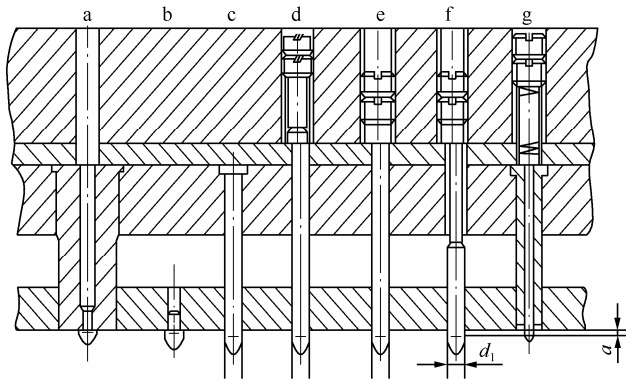


图 6-77 导正销的形状及尺寸设计

由于导正销的位置及尺寸误差和条料的变形,会使条料送进距离产生误差,可在其后每3~5步再设置若干导正销,或在产品尺寸要求较严的工步上设置导正销,以便在一定程度上纠正首次导正销形成的送进误差,同时增加条料的横向稳定性和冲压件的尺寸精度。采用双排导正销也可提高送进精度。

(2) 保证条料在被导正时处于自由状态

条料在做精定位时,应处于自由状态,以便导正销对其进行导正。对条料的干涉可能来自下述几个方面。

① 定距刀(侧刃)造成的干涉。如果定距刀切下的用做定距的条料侧边长度小于导正销之间的距离,条料向前的导正必将受到干涉。因此,应使定距刀切边长度略大于步距(可大 0.1 mm 左右)。

② 导料板的干涉。如果导料板之间的距离小于或等于条料的宽度,条料就不能在横向自由导正。因此,应将其间距加大 $0.5\sim 1\text{ mm}$ 。

③ 自动送料机构的干涉。在导正销对条料进行导正时,如果自动送料机构没有将条料松开,仍夹持或压着条料,导正销就无法将条料导正。

④ 模具卸料板的干涉。在导正销对条料进行导正时,如果卸料板等弹性机构将条料压住了,导正销也无法将条料导正。

解决方法有以下几种。

在卸料板外部(不与条料接触的位置)安置四个略厚于材料厚度的衬垫。当模具合模时,这四个衬垫压在凹模面上,使得卸料板不压在条料上而留有很小的间隙。

设置双层弹簧,由软弹簧负责将条料从导正销上卸下;由硬弹簧负责将条料从凸模上卸下。这样,当导正销插入条料时,条料也被弹簧压住了,但这个压力很小,不至于干涉条料导正。也可干脆将导正销工作面伸到卸料板下平面外。这样可以确保在导正销导正条料时,条料没有被压住,而在凸模冲裁或成形时,条料被压得很紧。采用这种方法时,导正销无法自动从条料中退出,应采取某种措施。导向销结构如图 6-78 所示,图 6-79 所示为两种导向销方式。

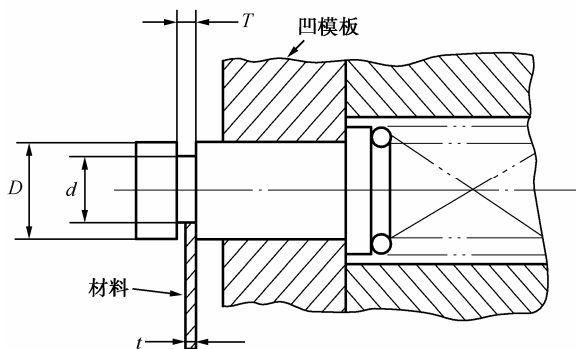


图 6-78 导向销结构

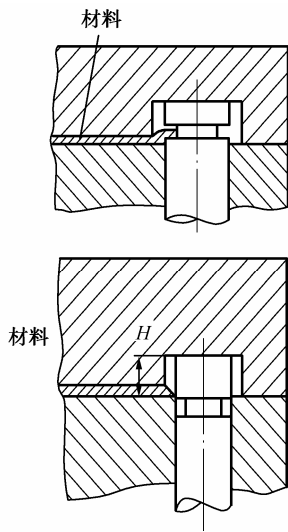


图 6-79 导向销方式

2. 保证条料的正常送进设计

条料的正常送进是指将合格的条料在正常的工作状态下送至指定位置。

条料正常送进是保证冲压工作顺利进行的先决条件。为此,当条料的厚度、宽度超差和条料在送进过程中发生纵向、横向弯曲或进入末端时,以及送料机构、送料面的各种障碍导致误进给时,或当冲件、废料的排出及模具出现故障时都应及时停止冲压工作。因此,在模

具结构设计中必须充分考虑阻碍条料正常送进的各种因素并设置必要的自动检测保护装置。

影响模具正常送进的模内送料面障碍通常包括下列几种：

- (1) 冲裁毛刺、油垢等影响送进；
- (2) 带有弯曲、成形的级进模，零件在条料上成形后带来的送进障碍；
- (3) 进行弯曲、成形工位的凹模工作平面高低不平带来的送进障碍；
- (4) 模具内各种侧向、倒向工作机构故障带来的送进障碍；
- (5) 冲压时条料的额外变形和移位产生的送进障碍。

为解决上述障碍，应在模具结构设计时考虑采用各种弹性顶销、导向销、抬料销将条料顶离模面，并将条料侧向导尺放出一定间隙，设置必要的检测保护装置。

6.7.3 自动检测保护装置设计

自动检测保护装置能够自动地检测整个冲压过程中模具或条料发生的各种故障，并使冲床自动停止运转。目前对自动保护装置的要求是，可在滑块冲次每分钟不超过 200 次时，在同一行程停止滑块运行，也有用于每分钟 500 次的情况。

常用的自动检测保护装置有以下几种。

1. 检测原材料的自动保护装置

当材料厚度或宽度超差，纵向或横向弯曲以及条料用完时发出信号。

2. 条料误进给自动检测保护装置

当条料未达到指定位置时发出信号。

3. 检测出件的自动检测保护装置

当零件或废料未自动排出或料斗装满时发出信号。

自动检测保护装置的传感方式有接触式和非接触式两种。前者主要通过机械方式，如利用接触销（连微动开关）或被绝缘的探针同被检测物点接触，并同压力机控制电路组成回路。因为这种接触是间歇式的，因而带动电路闭合与断开来控制压力机工作。靠微动开关控制紧急停止装置的回路，反应较慢，不能用于较高的冲次。图 6-80 所示为检测误进给的保护装置，接触销类似于导正销，其直径小于导正销孔 0.04 mm。当条料未送到位时，接触销退回，通过微动开关启动紧急停止装置。当采用被绝缘的探针时，探针直径应小于导正销孔 0.2~0.3 mm。一套级进模可设置一个或几个误进给检测销钉。

非接触式传感器通过辐射射线来判断条料、制件或模具部件的位置。辐射源可以是利用光电效应的光波，也可以是利用电磁感应的电磁波或 β 射线（亦可用于检测材料厚度和制件是否通过）。

对自动检测保护装置的设计与应用，应注意以下几个问题：按被加工零件的精度要求，正确选择检测装置的方式、类别和检测精度，要求安装和操作方便，不能有过多的操作旋钮，各种检测必须稳定可靠和自动进行；正确选择传感器的安装位置，不能因其他外界动作影响检测精度和造成失误；因检测装置是在动态下检测的，故必须适应在有冲击、振动和油污的环境下工作。另外，当冲压车间的温度和湿度有较大变化时，应能保持检测精度。

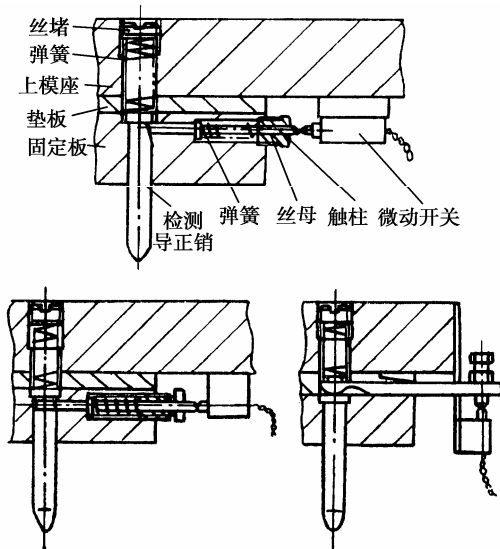


图 6-80 检测误进给的保护装置

6.7.4 保证模具的使用寿命

影响模具使用寿命的因素包括事故损坏和正常磨损两大类型，并且绝大部分的模具损坏是这两种情况的综合。多工位级进模结构特点的前述三条都与模具事故损坏有关。此外，引起事故的原因还有模具材料的缺陷、模具使用和维护中的失误、冲床的精度等多种因素，在此不一一列举。纯属正常磨损而引起的模具失效在模具设计中也必须加以考虑。其寿命的理论计算公式如下：

$$\text{磨损寿命} = \text{刃模寿命} \times \text{刃磨次数} \times \text{易损件更换次数}$$

从上式中可以看出磨损寿命是三种因素的综合，都应予以重视。例如，易损件应易于更换并精密可靠；把握最佳刃磨时机及刃磨量等。提高刃磨寿命主要涉及下列几个因素。

1. 正确选用模具材料

根据使用需要首先选用高抗磨、抗冲、红硬性好的材料（高速冲裁时，瞬间温度可达 $400^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ ）；把好锻造、热处理关；施以必要的表面硬化处理；考虑模具与冲件材质的亲和性；采取必要的润滑保护等。

2. 保证冲裁间隙

合理选择冲裁间隙，并保持该间隙在动、静态下的均匀性。

3. 重视刃面的缺陷和粗糙度

刃面的微小裂纹、伤痕和表面杂质都应去除并予以抛光。多工位级进模在冲制薄料、硅钢片、不锈钢及软铝时，其 R_a 值应达到 $0.2 \sim 0.1 \mu\text{m}$ ，以防止磨损、崩刃、黏结和冲件毛刺。

4. 改善板料的冲压工艺性

应避免尖角冲裁（ $R/t \leq 0.25$ 时，磨损加剧），注意板料的清洗，去除异物等。

6.7.5 保证模具维修简便

含有冲裁、弯曲、成形多种工序的级进模，其各种凸模、凹模的工作平面不处于同一水平面上。这种情况给模具磨刃口带来很大麻烦，有时就根本无法做整体磨削，而需要将模具拆开，分别开刃。冲裁刃口进行磨削后，其高度将发生变化，不能与弯曲、成形保持规高度

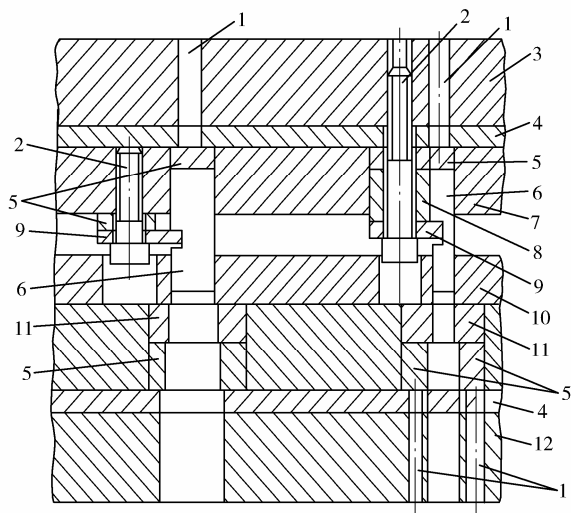
差,需要进行重新调整。另外,由于级进模冲头很多,使用频率又很高,难免经常发生折损。级进模如果不考虑上述情况。采用一般设计结构,则会给维修带来很大麻烦,也会缩短模具的使用寿命。解决办法主要有下述四个方面。

1. 采用可调整高度的冲裁凹模和凹模块

对于较简单的、外形尺寸不大的凹模,可做成整体式或拼装式,而弯曲、成形凹模做成镶块镶在整体凹模上。开刃时,可将这些镶块拆下,并在其背面磨去相应的高度。采用这种方法,模具总体寿命取决于整体凹模刃口高度。此时,可在模板、垫板上开出相应的拆卸孔以便于不拆凹模就可卸下镶块。镶块的紧固不宜采用台阶式,可用紧定螺钉在侧面锁死。

对于大型、复杂的凹模,宜将全部工作型面都做成镶块式。准备一组垫块,镶块开刃后,选择合适厚度的垫块垫在凹模镶块背面,以保持合适的高度差。如果多准备几块凹模镶块,则模体的总体寿命可能大大延长。

对于较难加工的凸、凹模,亦可采取可调式,如图 6-81 和图 6-82 所示。图 6-81 所示为垫片式,图 6-82 所示为斜楔式。



1—拆卸孔; 2—螺钉; 3—上模板; 4—垫板; 5—垫块; 6—凸模; 7—凸模座; 8—衬块;

9—压板; 10—卸料板; 11—凹模; 12—下模板

图 6-81 垫片式可调高度凸、凹模

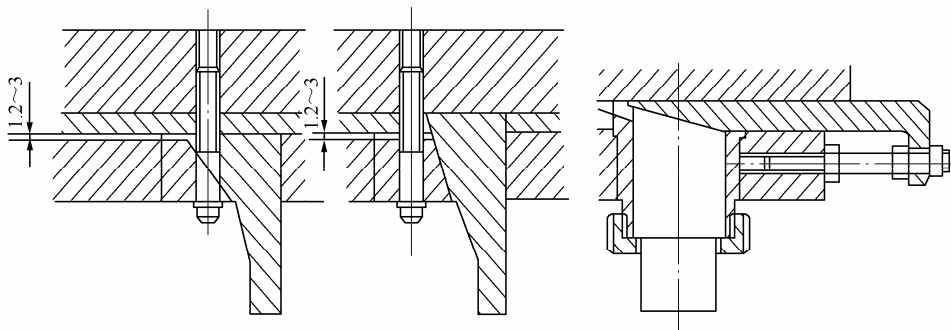


图 6-82 斜楔式可调高度凸、凹模

2. 采用便于拆卸的凸模安装结构

凸模磨损或折断需要更换时,通常是将凸模座拆下后更换。此时需将模具从冲床上卸下,再将模具拆开,拆换麻烦。模具在冲床上一卸一装,再加上调整,也影响生产,应该尽量采用快换结构。最理想的情况是在冲压生产现场即冲床上就能更换凸模。

稍微麻烦一点的结构是将模具由冲床上卸下,但可不拆开模具而更换凸模,其结构如图 6-83 所示。使用快换凸模结构时需在相应的模板、垫板处钻出拆卸孔。

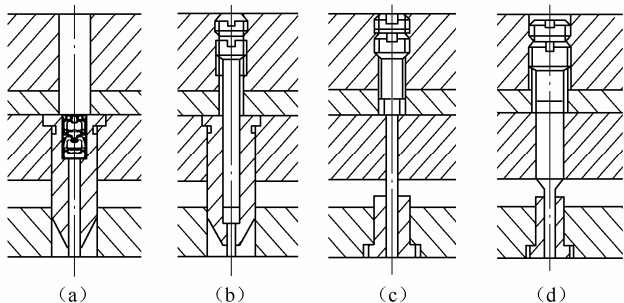


图 6-83 细小圆凸模快换

3. 改进卸料结构

为便于凸模开刃,卸料板的弹簧可用模板上的螺塞压紧,以便不拆卸料板就能开刃。卸料板螺钉宜做成套管式,以便于调整卸料板高度和防止螺钉断裂。

4. 采用弯曲间隙微调结构

为解决弯曲凸模侧面磨损问题,可采用弯曲间隙微调结构。

6.7.6 高速冲压用级进模的结构特点

多工位自动级进模在高速冲压时每分钟冲次达数百次。在这种高速连续的往返运动中,模具将承受很大的冲击、振动且发热。各运动机构也应保证运动的转换速度(较小的惯性、较大的加速度)。为此,模具结构设计应注意以下各点。

(1) 为解决耐热、抗冲击问题,模具材料的选择应更为严格。凸、凹模材料可根据需要采用高抗冲、高耐磨的、红硬性好的合金工具钢(如 9Cr6W3Mo2V2, 将其淬硬到 HRC65)。在加工磁性材料或不锈钢系列材料等黏结性较强的材料时,应采用红硬性较好的高速钢或硬质合金。这些材料可经受每分钟 400 次以上的冲压而硬度及耐磨性不下降,但高速钢和硬质合金韧性较差。选用硬质合金时,凸模应比凹模材质低一个等级。对于凸模固定板、凹模镶块固定板及卸料板类零件,为保证其与凸模或凹模镶块在高速冲击下的精密配合,也宜采用碳素钢或合金工具钢淬硬使用。模座最好采用加厚的铸铁板,以利于吸收振动。若采用钢板,应在加工前消除内应力,并予以调质,以增加刚性、吸收冲击、防止疲劳。

(2) 必要时应设置冷却(油、汽冷)、润滑系统。

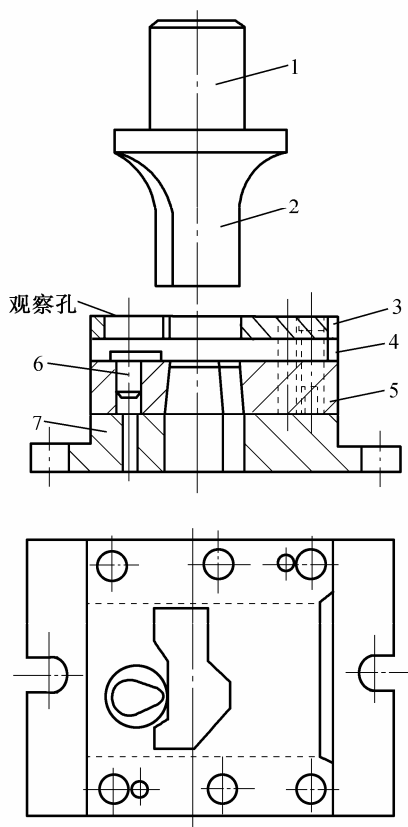
(3) 模具中应绝对避免各种运动元件(如卸料板,各种镶件、镶套)及紧固件的松动、脱落,增加保险螺钉、紧定螺钉、弹簧垫等。

(4) 高速冲压的惯性极大,如果上模重量增加,惯性也随之增大,对下死点精度影响很大,振动、发热现象也很严重,结果对产品精度及模具寿命均有很大影响。为此,设计时应尽量减轻上模重量。结构设计时,能够装在下模的机构应尽量放在下模。如有可能,上模的有些零件可选用高强度铝合金材料或工程塑料制造,使上模重量小于压力机滑块重量。

7.1 冲裁模设计典型实例精析

7.1.1 带固定卸料定位板的落料模

如图 7-1 所示结构, 模柄与凸模为一整体, 便于制造。上模靠固定卸料板定位, 称为导板模。凸模与凹模组成一对冲裁刃口, 可用于一般金属、非金属冲裁, 但不适用于冲裁间隙过小者。

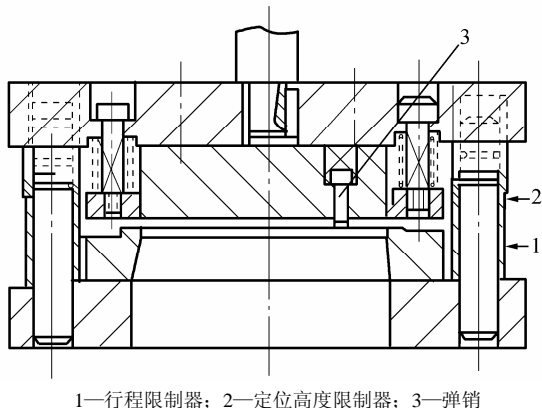


1—模柄; 2—凸模; 3—卸料板; 4—导料板; 5—凹模; 6—挡料销; 7—下模座

图 7-1 带固定卸料定位板的落料模

7.1.2 带弹性卸料板的落料模

图 7-2 所示结构采用导柱、导套定位系统, 冲裁间隙易于保证。开模时卸料板随上模上升, 凹模上平面敞开, 便于观察与送料。采用弹性卸料板可得到较为平整的冲件。

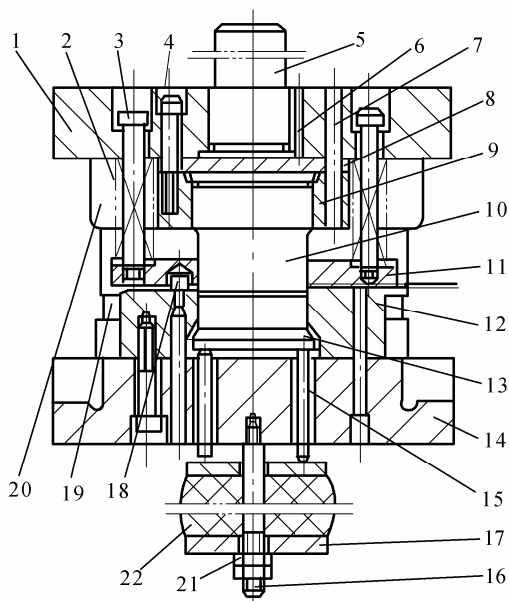


1—行程限制器；2—定位高度限制器；3—弹销

图 7-2 带弹性卸料板的下出件落料模

7.1.3 上出件落料模

图 7-3 所示结构与下出件落料模相比，取件较为困难，但可以得到更为平整的制件。

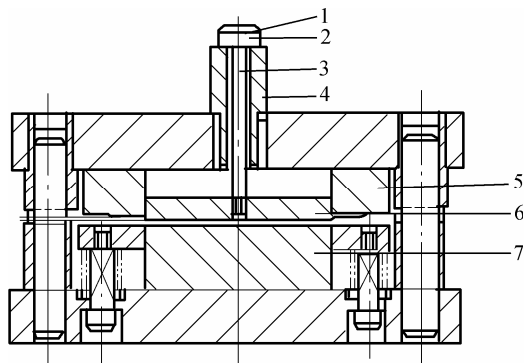


1—上模板；2—弹簧；3—卸料螺钉；4—内六角螺钉；5—模柄；6、7—圆柱销；8—垫板；9—固定板；10—凸模；
11—卸料板；12—凹模；13—顶出器；14—下模座；15—顶杆；16—螺栓；17—圆板；18—挡料销；19—导柱；
20—导套；21—螺帽；22—橡胶（或聚氨酯）

图 7-3 上出件落料模

7.1.4 打料出件落料模

图 7-4 所示结构与上出件落料模类似，但采取了倒装的方式。该结构增加了打料机构。开模时，打料机构将冲件由上模打出，这样便于用机械手接取或用风吹走工件。此种出件方式与下出件方式都适用于大型落料件，得到的冲件也都不如上出件落料模平整。



1—销子；2—挡圈；3—打料杆；4—模柄；5—凹模；6—打料板；7—凸模

图 7-4 打料出件落料模

7.1.5 切边模的典型结构

1. 凸缘切边模

常用的凸缘切边模类似于落料模，也有上出件、下出件和打料出件的结构形式，但应注意解决工件的定位、切边废料的切断和冲裁毛刺的方向等问题。

2. 横向切边模

某些工件需要将立边修平或冲出缺口，可采用如图 7-5~图 7-7 所示的结构。图 7-5 所示结构用于凸缘根部圆角半径较小时，冲切端面质量较差，但可以与拉深工序同时进行。图 7-6 所示结构可获得较好的冲切端面，但需多次冲切才能完成整个端面的修边。图 7-7 所示结构可一次完成立边的横向切边。其工作原理是：当凸模下降到一定深度时，限位柱与凹模接触，使得凸、凹模共同下降，而凹模在四块导板的作用下依次产生四个方向的水平运动，从而完成修边。对于大型零件亦可采用斜楔式修边模，但在四周应设置足够的滑块，互相不得干涉，且不留冲切死角。

3. 纵向剖切模

在成形工序中，某些对称成形件常两件一起冲压，然后剖切开。沿着纵向剖切立边的模具称纵向剖切模，如图 7-8 所示。

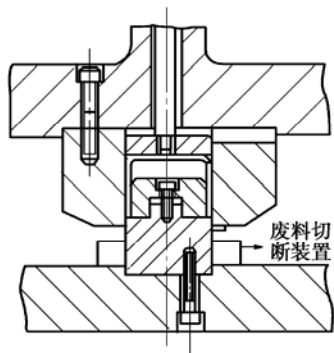
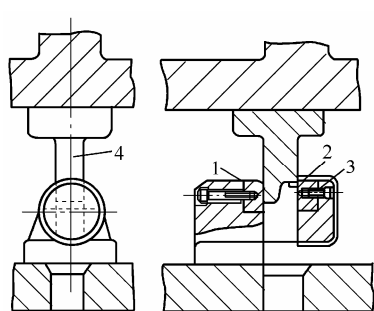
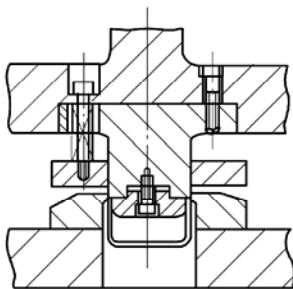
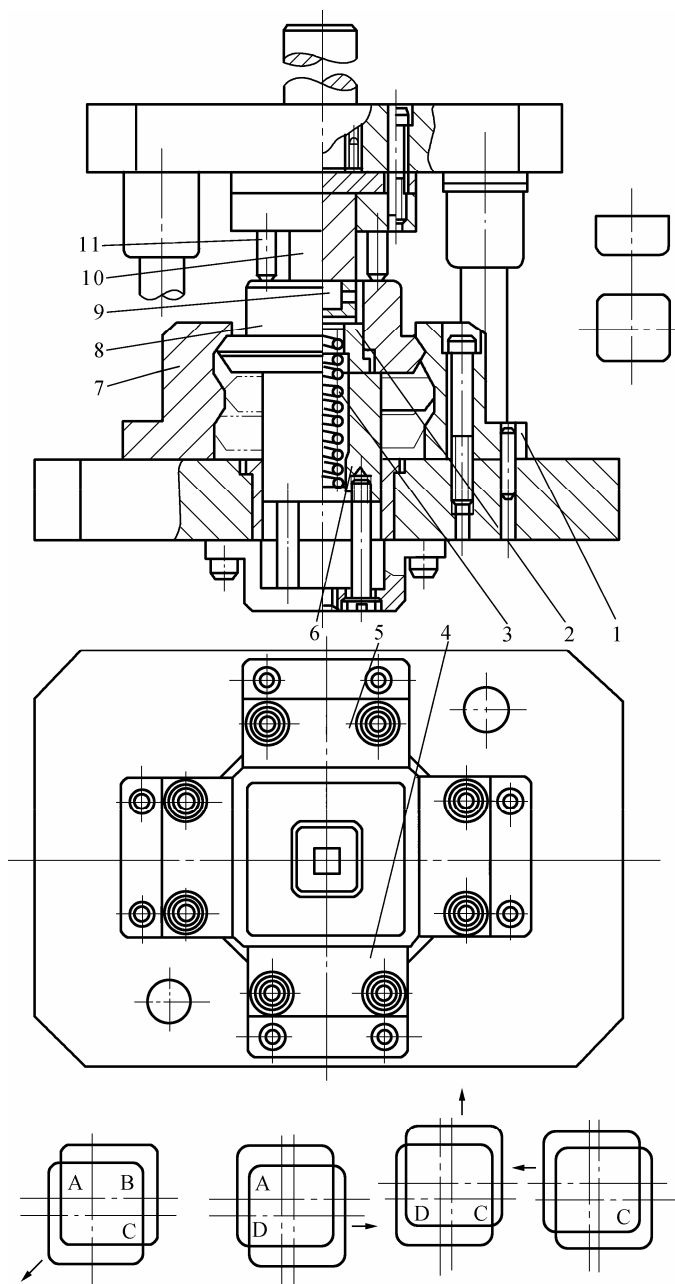


图 7-5 修边模



1—后挡块；2—凹模；3—成形件用的定位件；4—凸模

图 7-6 悬臂修边模



1—右导板；2—顶板；3—弹簧；4—前导板；5—后导板；6—凹模托板；

7—左导板；8—凹模；9—芯子；10—凸模；11—限位柱

图 7-7 浮动切边模

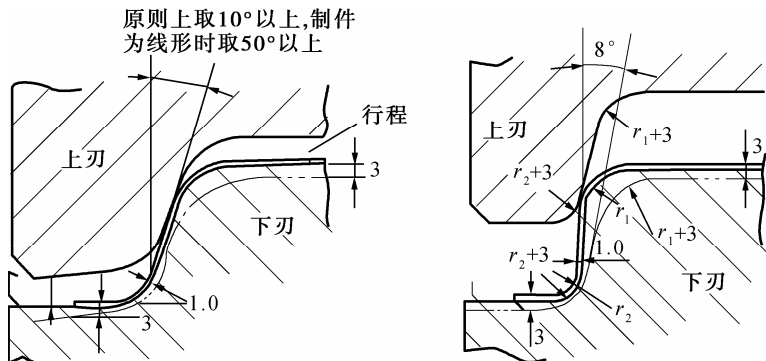


图 7-8 纵向剖切模

7.1.6 冲孔模的典型结构

1. 普通冲孔模

普通冲孔模类似于落料模，也有固定和弹压两种卸料板形式，但冲孔往往是在冲件上进行，所以应注意解决好制件的定位和取件的方便性问题。

2. 小孔精密冲模

对于小孔冲模，其凸模易折断，因此，在结构上应予以保护。其方法是保护凸模端部，防止其失稳或移位，或者减小凸模长度。图 7-9 所示结构在卸料板上增加了小导柱，卸料板又与凸模滑配合，可增加凸模刚度，对细小凸模起保护作用。小导柱可按需要设置。

图 7-10 所示结构中，起导向（对凸模）作用的卸料板与大导柱滑配合，与小导柱（如图 7-9 所示）相比，更适于大批量生产。该结构通过可以伸缩的凸模导套，加长了对凸模的保护，从而可以更好地提高凸模刚性。凸模与凸模座可采用精度较低的松动配合。

工件上分布若干小孔，相互间距又小，不适于采用加长护套时，缩短凸模长度是一种更为简捷的方法（如图 7-11 所示）。其缺点是凸模有效工作部分较短，使用到一定程度时，必须更换凸模。

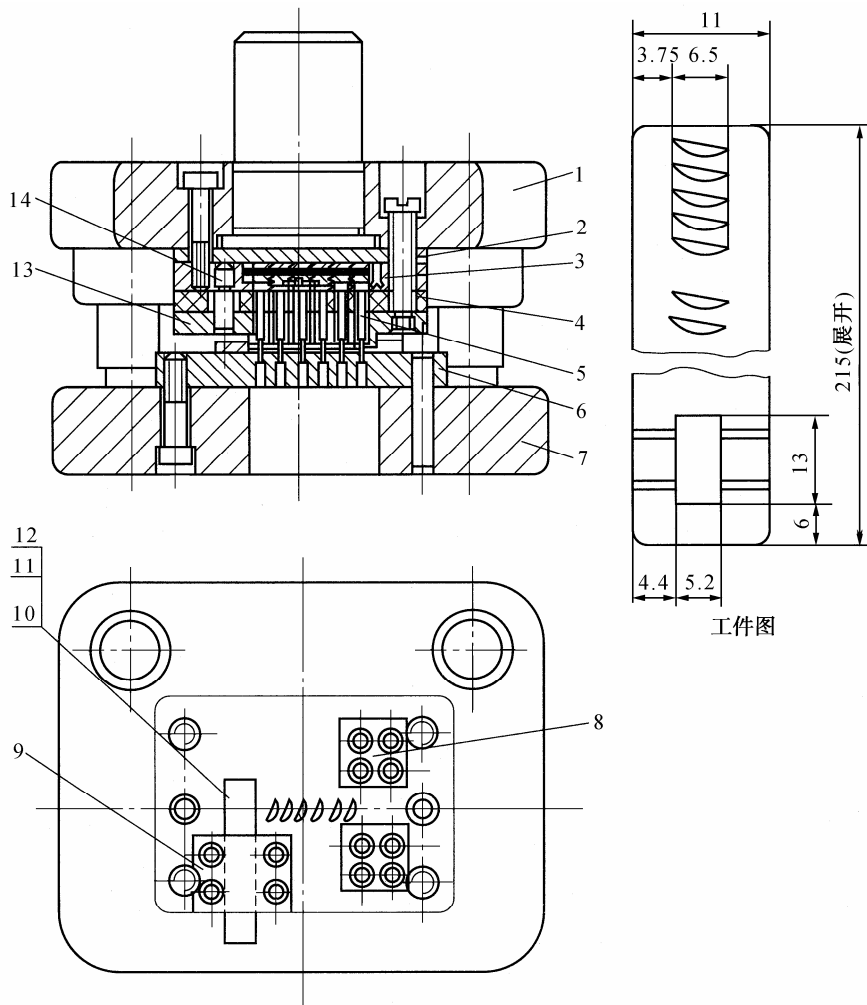
3. 悬臂式冲孔模

图 7-12 和图 7-13 所示模具结构可以解决上、下孔的同心问题。

图 7-13 所示结构下面的孔是通过上面孔的废料切出的，因此冲裁间隙应尽量小，以避免下面孔过大。

4. 滑块式侧向冲孔模

该结构常用于壳体件立边的轴向多孔冲切，以保证各孔的位置。由于工件的形状及冲孔要求各异，其模具结构通常比较复杂，应注意保证滑块工作时的可靠性。



1—上模座；2—垫板；3—固定板；4—橡皮；5—凸模；6—凹模；7—下模座；
8—定位板；9—导板；10、11、12—定位板；13—卸料板；14—小导柱

图 7-9 冲孔模

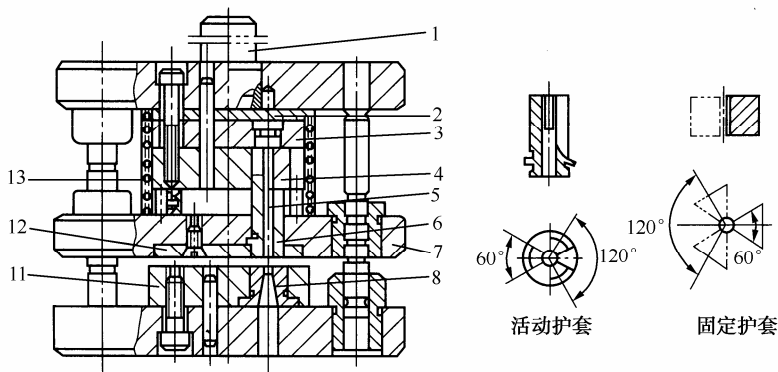
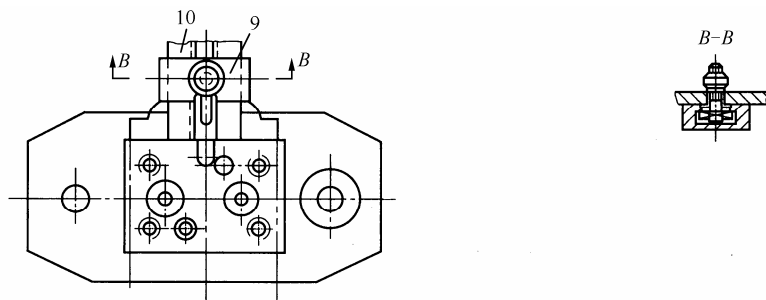
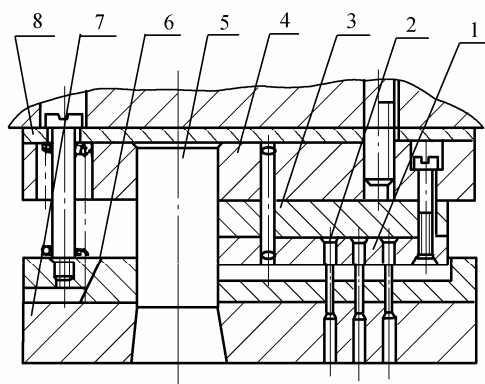


图 7-10 小孔冲模



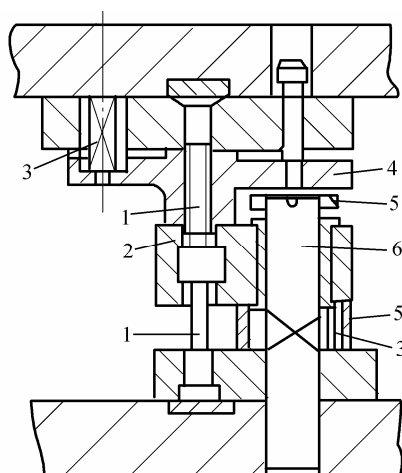
- 1—模柄；2—垫板；3、11—固定板；4—固定护套；5—凸模；6—活动护套；
7—卸料板；8—凹模；9—定位板；10—支持板；12—卸料镶板；13—弹簧

图 7-10 小孔冲模（续）



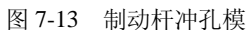
- 1、4—固定板；2、5—凸模；3、8—垫板；6—卸料板；7—凹模

图 7-11 中小孔凸模设计

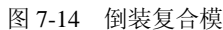


- 1—凸模；2—圆筒凹模；3—弹簧；4—卸料板；5—停止器；6—导柱

图 7-12 上下冲孔模



用于冲裁的复合模通常是指落料与冲孔同时完成的冲裁模（如图 7-14 和图 7-15 所示）。其中，既作为落料的凸模，又作为冲孔凹模的零件称为凸凹模。复合冲裁模有倒装与顺装两种结构形式，前者用于工件平整度要求不高、凸凹模强度足够的情况，它操作较为方便。复合模与单工序模具相比减少了冲压工序，工件外形与内孔的位置精度较高，但结构较复杂且受凸凹模最小壁厚限制。



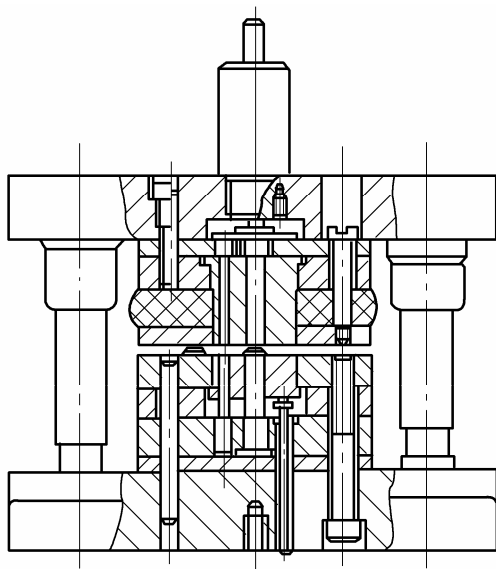


图 7-15 顺装复合模

7.2 弯曲模设计典型实例精析

7.2.1 V形弯曲模典型结构

图 7-16 所示为带压边及定位销的弯曲模，其中图 (a) 为对称弯曲，适用弯曲任意角度；图 (b) 为工件水平放置，向上弯曲 90° ，图 (c) 适用于大型件端头 90° 弯曲。

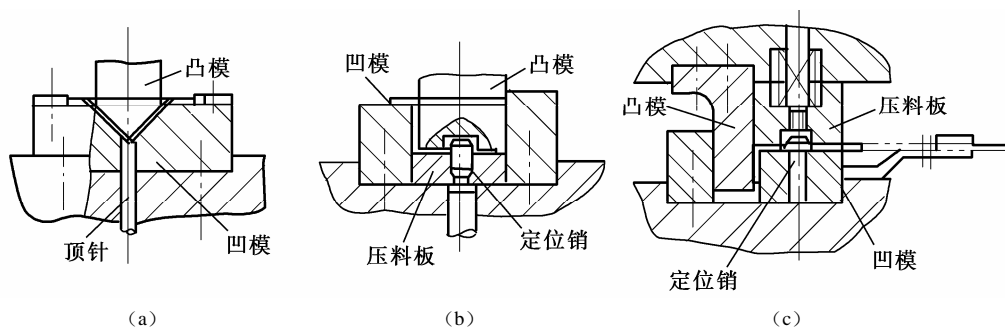


图 7-16 带压边及定位销的弯曲模

图 7-17 所示为适用任意角度的端头弯曲模。图 7-18 所示为工件水平放置时的端头锐角弯曲、切断模。

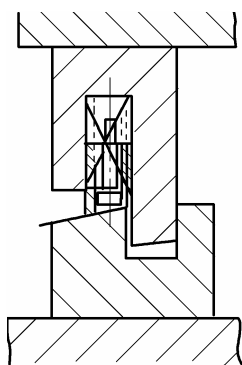


图 7-17 适用任意角度的端头弯曲模

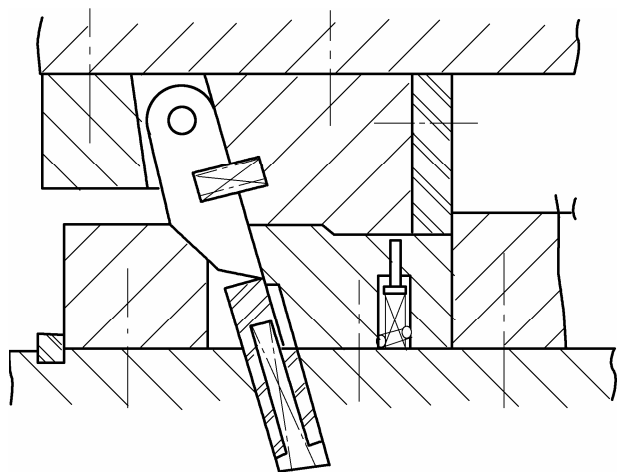


图 7-18 工件水平放置时的端头锐角弯曲、切断模

7.2.2 U形弯曲模典型结构

图 7-19 所示为 U 形弯曲模，其中图 (a) 为 90° 弯曲模，图 (b) 为锐角弯曲模。图 7-20 所示为水平放置的 U 形弯曲模。

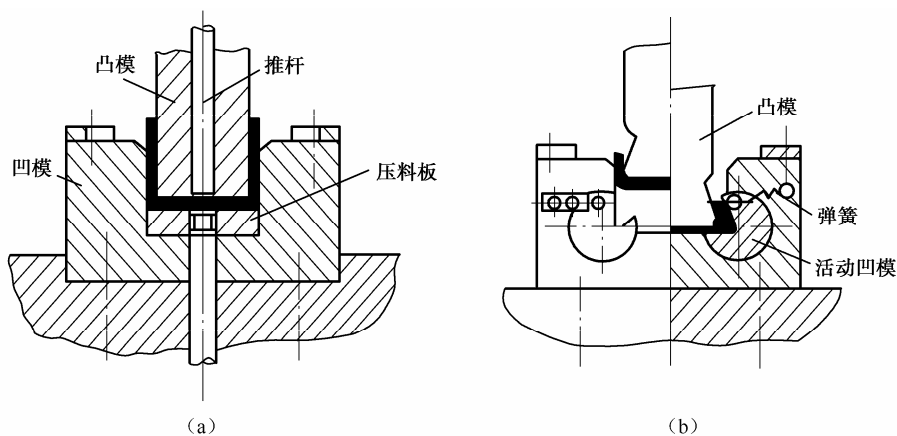


图 7-19 U 形弯曲模

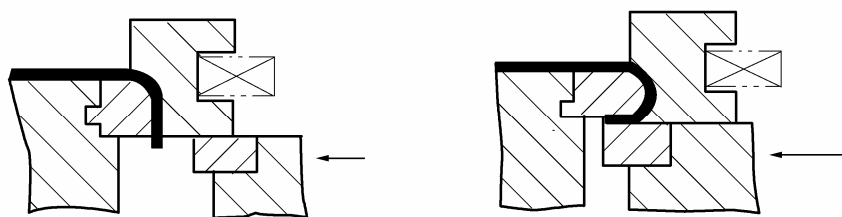


图 7-20 水平放置的 U 形弯曲模

7.2.3 带凸缘U形弯曲模

图 7-21 所示为带凸缘 U 形弯曲模。

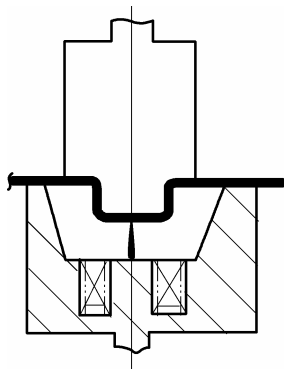


图 7-21 带凸缘 U 形弯曲模

7.2.4 W形弯曲模

图 7-22 所示为 W 形弯曲模。

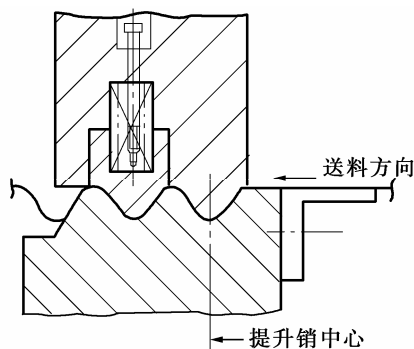


图 7-22 W 形弯曲模

7.2.5 Z形弯曲模

图 7-23 所示为 Z 形弯曲模。

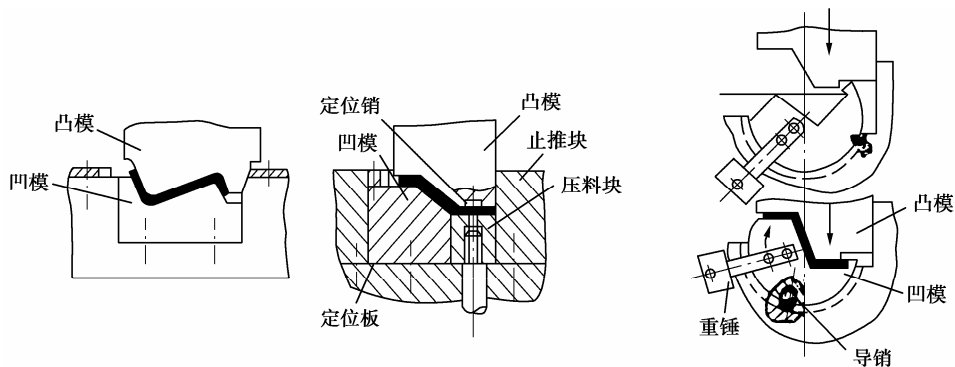


图 7-23 Z 形弯曲模

7.2.6 卷圆模

图 7-24 所示为卷圆形弯曲模。

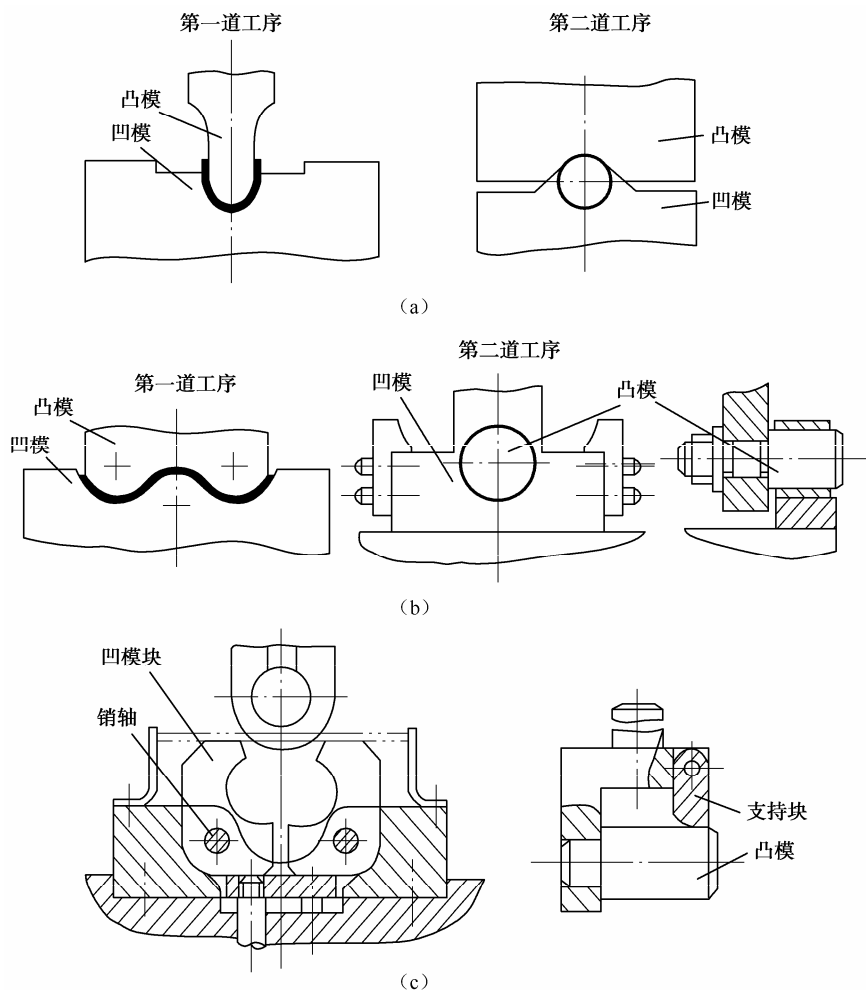


图 7-24 卷圆形弯曲模

7.2.7 卷边模

卷边模如图 7-25~图 7-27 所示，其中图 7-25 所示为合页卷边模，图 7-26 所示为薄板卷边模，图 7-27 所示为中心卷边模。

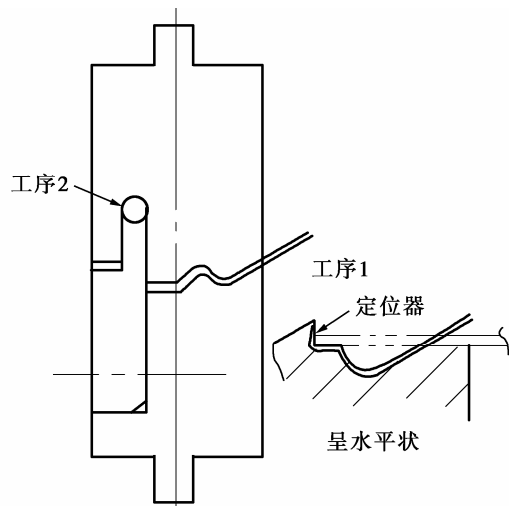


图 7-25 合页卷边模

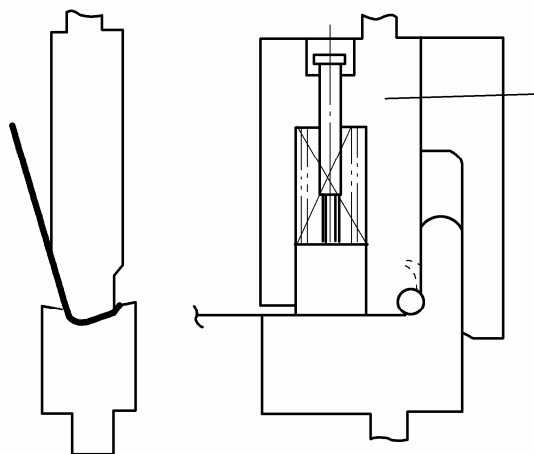


图 7-26 薄板卷边模

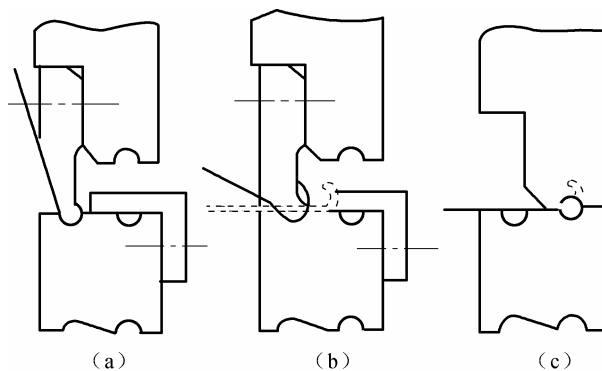


图 7-27 中心卷边模

7.2.8 咬口模

咬口模如图 7-28 和图 7-29 所示。

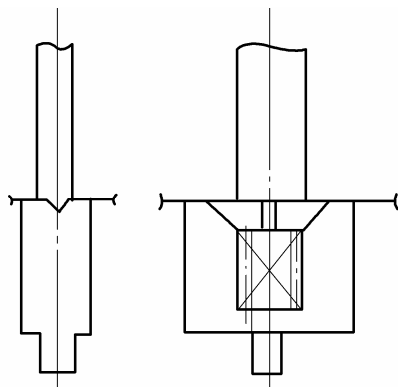


图 7-28 咬口模一

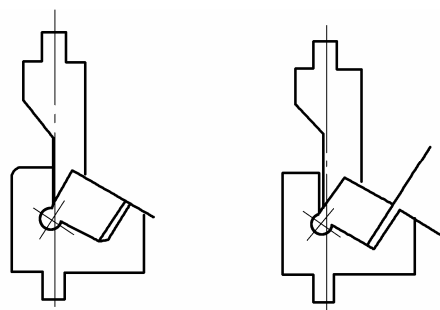
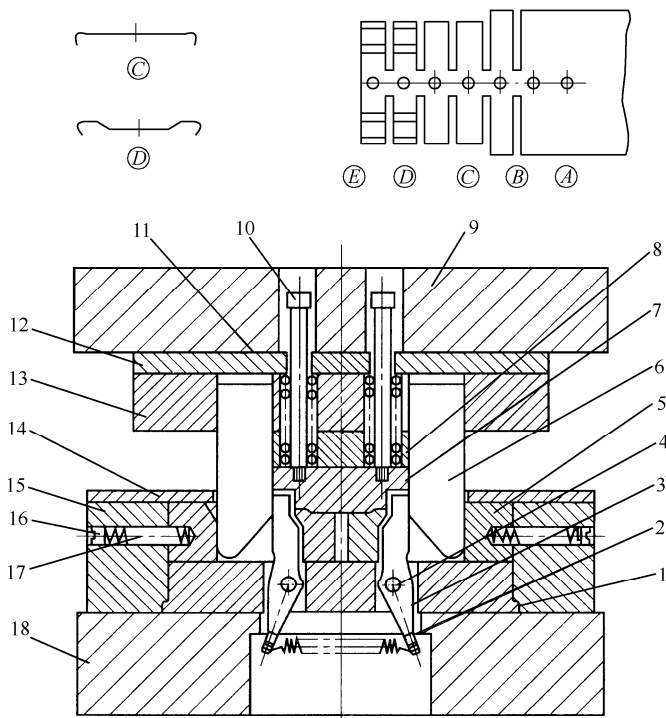


图 7-29 咬口模二

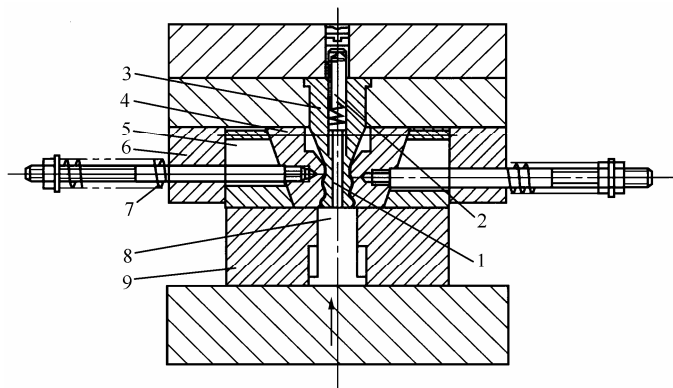
7.2.9 側弯模

侧弯模典型结构如图 7-30 和图 7-31 所示, 图 7-30 所示为摆块侧弯模, 图 7-31 所示为斜滑块侧弯模。



1—支板; 2—拉簧; 3—凸轮块; 4—小轴; 5—滑动模芯; 6—斜楔; 7—上模型芯; 8—镶垫块; 9—上模座; 10—卸料钉;
11—弹簧; 12—垫板; 13—固定板; 14—盖板; 15—限位挡块; 16—丝堵; 17—弹簧; 18—下模座

图 7-30 摆块侧弯模



1—顶出器；2—弹簧；3—型芯；4—斜滑块；5—斜楔；6—安装板；7—弹簧；8—顶件器；9—下模

图 7-31 斜滑块侧弯模

7.2.10 倒冲弯曲模

倒冲弯曲模结构常用于级进模，图 7-32 所示是一种斜楔式倒冲机构。

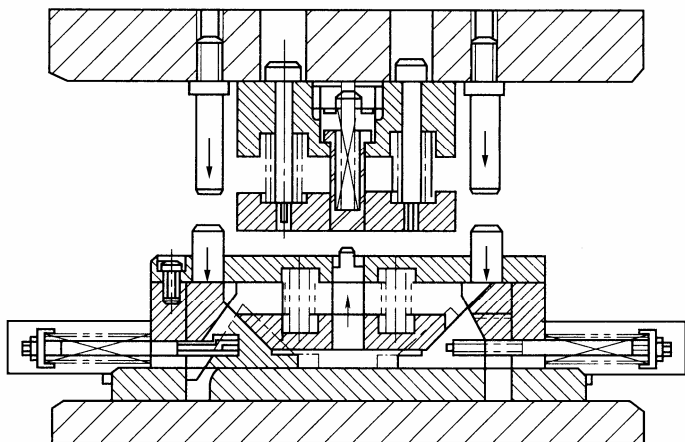
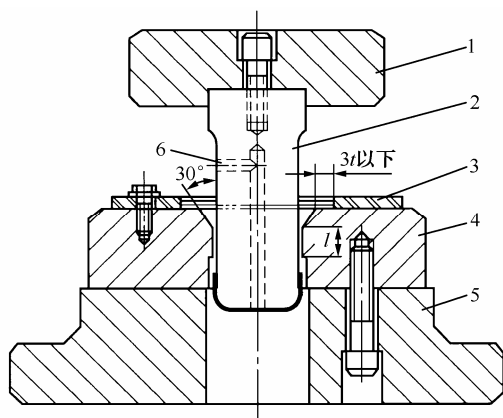


图 7-32 斜楔式倒冲机构

7.3 拉深模设计典型实例精析

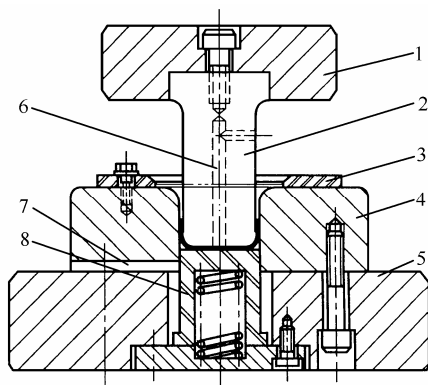
7.3.1 首次拉深模典型结构

首次拉深模典型结构如图 7-33~图 7-37 所示，图 7-33 所示为无压板拉深落件形式首次拉深模，图 7-34 所示为无压板拉深带顶出装置首次拉深模，图 7-35 所示为带固定压板拉深落件形式首次拉深模，图 7-36 所示为上模带可动压板拉深落件形式首次拉深模，图 7-37 所示为下模带可动压板及打料杆形式首次拉深模。



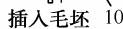
1—凸模座；2—凸模；3—定位板；
4—凹模；5—凹模座；6—通气孔

图 7-33 无压板拉深落件形式首次拉深模



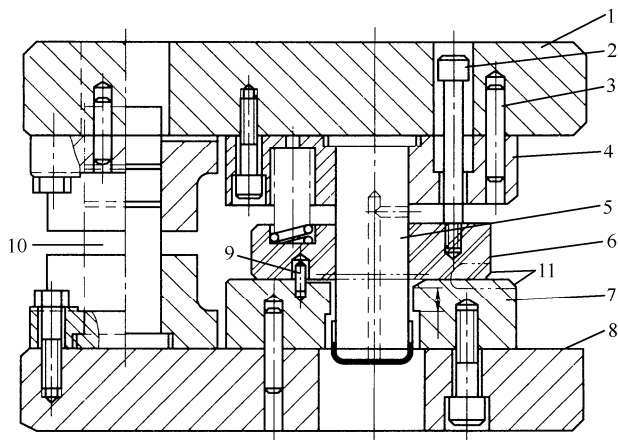
1—凸模座；2—凸模；3—定位板；4—凹模；
5—凹模座；6、7—通气孔；8—顶板

图 7-34 无压板拉深带顶出装置首次拉深模



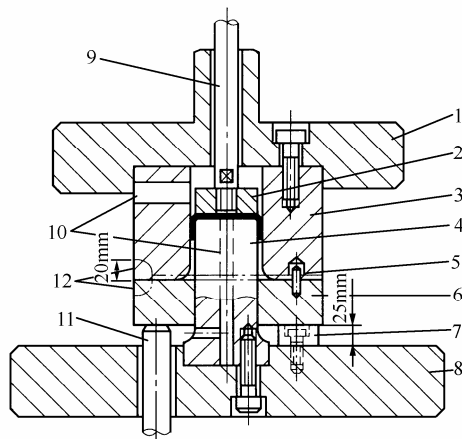
1—凸模座；2—凸模；3—毛坯压板；4、9—定位板；5—凹模圈；6—凹模板；7—凹模座；8—毛坯；10—插入毛坯用缺口

图 7-35 帶固定壓板拉深落件形式首次拉深模



1—上模座；2—卸料板螺栓；3—安装销钉；4—凸模板；5—凸模；6—毛坯压板；
7—凹模；8—下模座；9—定位销；10—导柱；11—安全空位

图 7-36 上模带可动压板拉深落件形式首次拉深模

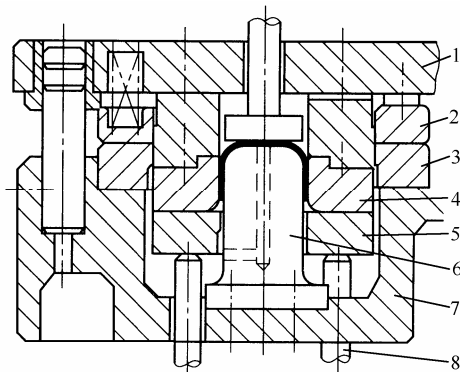


1—上模座；2—打料板；3—凹模；4—凸模；5—定位销；6—毛坯压板；7—限位块（接触板）；
8—下模座；9—打料杆；10—通气孔；11—缓冲销；12—安全措施空位

图 7-37 下模带可动压板及打料杆形式首次拉深模

7.3.2 落料拉深模典型结构

落料拉深模典型结构如图 7-38 所示，适用于中小件单动冲裁拉深。

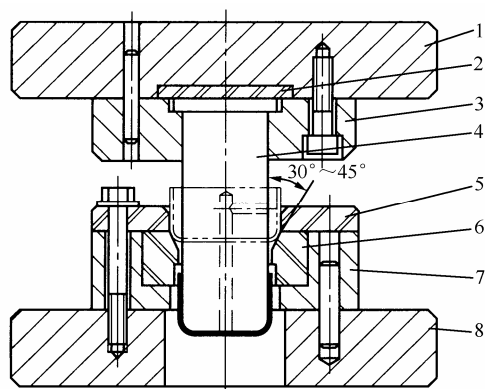


1—上模座；2—卸料板；3—冲裁凹模；4—拉深凹模兼做冲裁凸模；5—压料板；6—凸模；7—下模座；8—缓冲销

图 7-38 落料拉深模典型结构

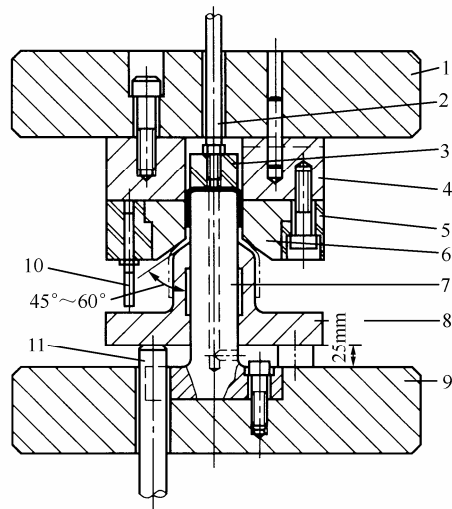
7.3.3 二次拉深模典型结构

二次拉深模典型结构如图 7-39~图 7-43 所示，图 7-39 所示为无防皱压板拉深落件形式二次拉深模，图 7-40 所示为带防皱压板及打料杆形式二次拉深模，图 7-41 所示为无压板拉深落件形式二次拉深模，图 7-42 所示为无防皱压板带顶出装置二次拉深模，图 7-43 所示为带防皱压板及打料杆形式二次拉深模。



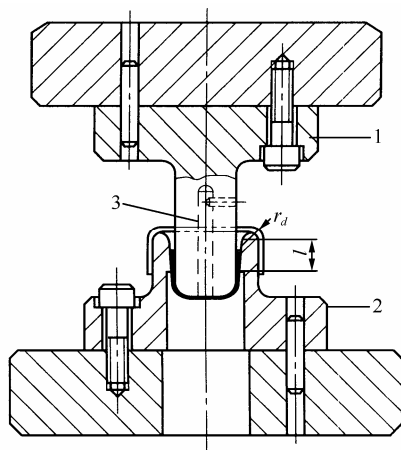
1—上模座；2—垫板；3—凸模板；4—凸模；
5—定位板；6—凹模圈；7—凹模板；8—下模座

图 7-39 无防皱压板拉深落件形式二次拉深模



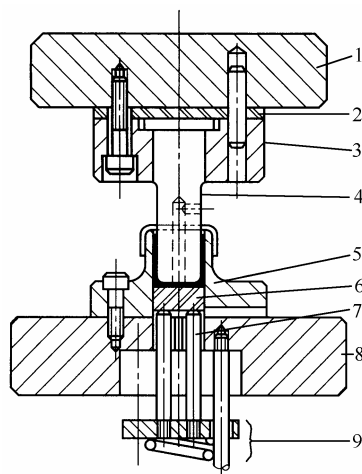
1—上模座；2—打料杆；3—打料板；4—凹模板；5—固定圈；
6—凹模圈；7—凸模；8—压料板；9—下模座；
10—防皱压板间隙调节螺栓（限位销）；11—缓冲销

图 7-40 带防皱压板及打料杆形式二次拉深模



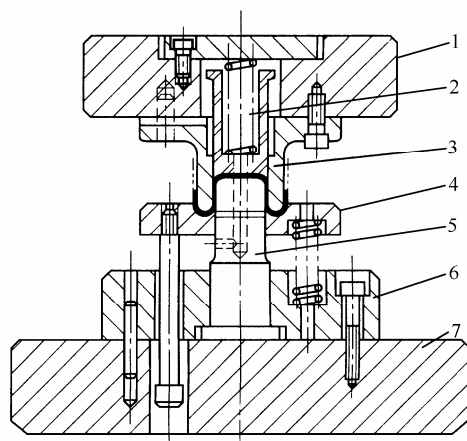
1—凸模；2—凹模；3—通气孔

图 7-41 无压板拉深落件形式二次拉深模



1—上模座；2—垫板；3—凸模板；4—凸模；5—凹模；
6—推料板；7—缓冲销；8—下模座；9—弹簧缓冲器

图 7-42 无防皱压板带顶出装置二次拉深模



1—上模座；2—打料弹簧；3—凹模；4—压料圈；5—凸模；6—凸模板；7—下模座

图 7-43 带防皱压板及打料杆形式二次拉深模

7.4 成形模设计典型实例精析

7.4.1 缩口模的典型结构

缩口模的典型结构如图 7-44 所示。

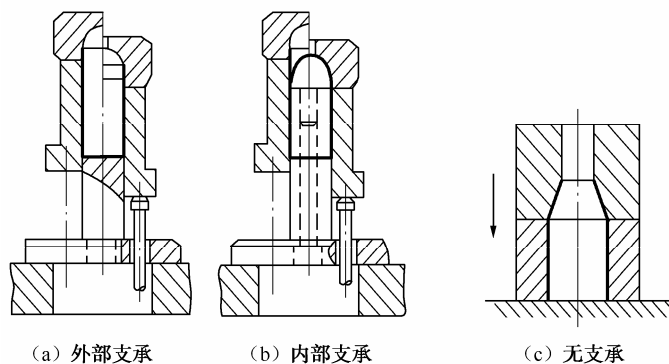


图 7-44 缩口模的典型结构

7.4.2 扩口模的典型结构

扩口模的典型结构如图 7-45 所示。

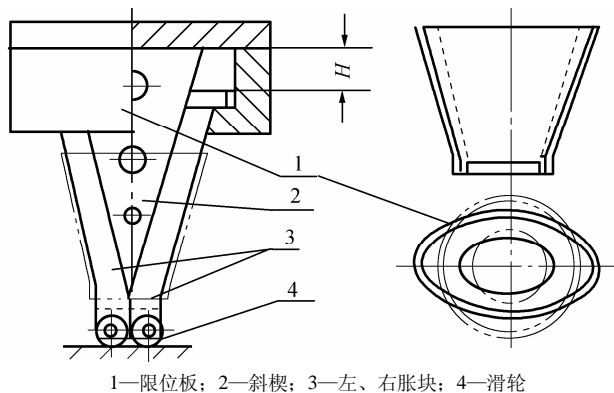


图 7-45 扩口模的典型结构

7.4.3 胀形模的典型结构

胀形模的典型结构如图 7-46 所示。

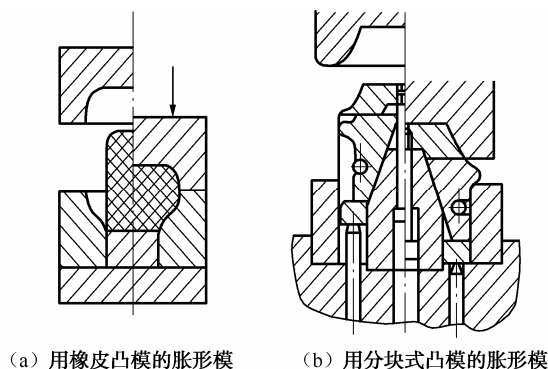


图 7-46 胀形模的典型结构

7.4.4 翻边模的典型结构

翻边模的典型结构如图 7-47~图 7-49 所示，图 7-47 所示为小孔径翻边模，图 7-48 所示为小孔径冲孔翻边模，图 7-49 所示为凸缘向上冲孔翻边模。

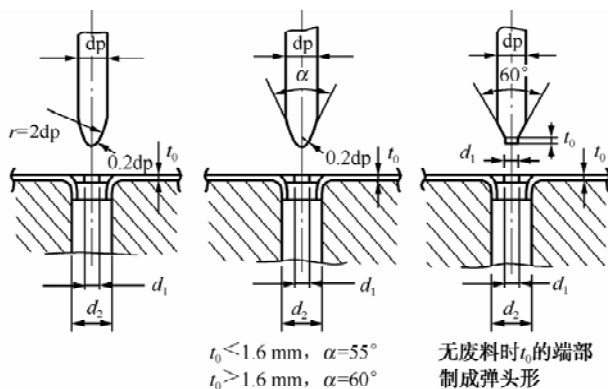


图 7-47 小孔径翻边模

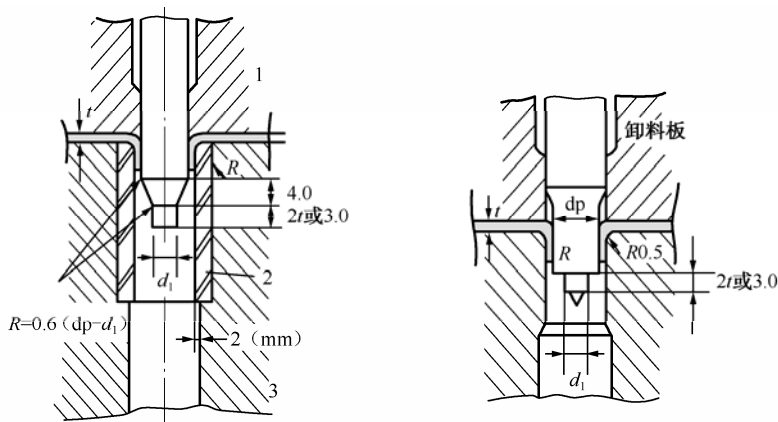


图 7-48 小孔径冲孔翻边模

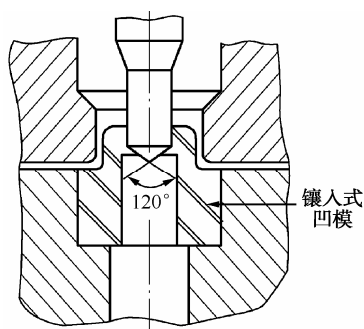


图 7-49 凸缘向上冲孔翻边模

7.5 冷挤压模设计典型实例精析

7.5.1 冷挤压模的典型结构

冷挤压模的典型结构如图 7-50~图 7-54 所示。

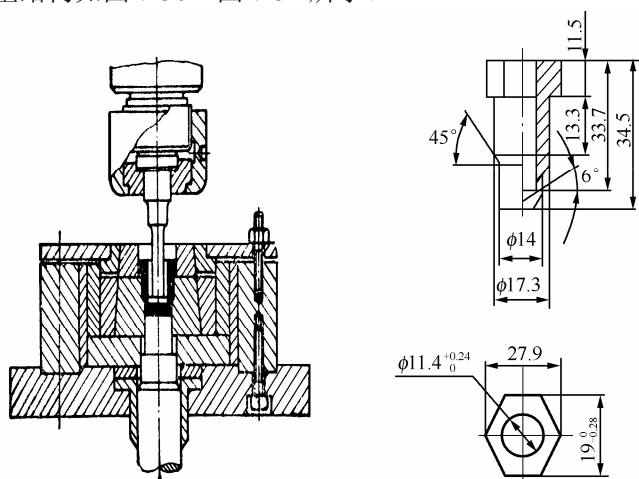


图 7-50 无导向壳体冷挤压模

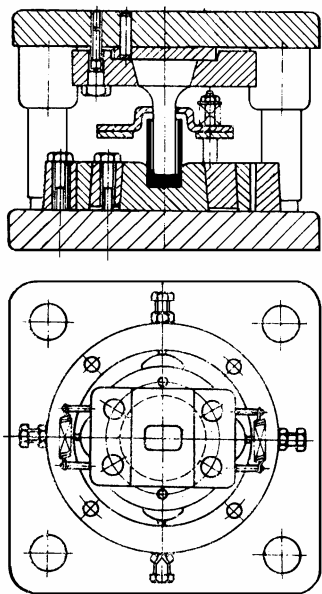


图 7-51 导柱导套导向反挤压通用模

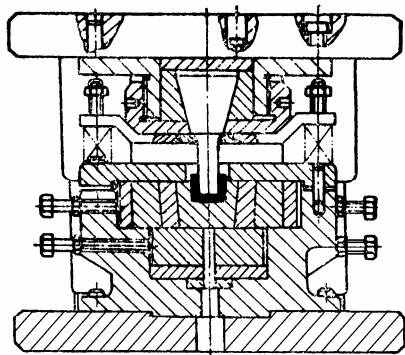


图 7-52 正反挤压通用模

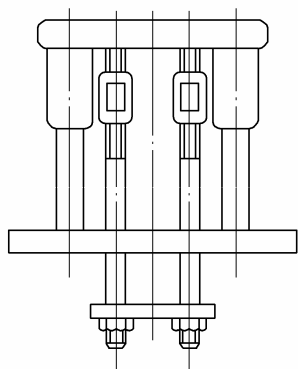


图 7-53 正挤反拉杆式卸料装置

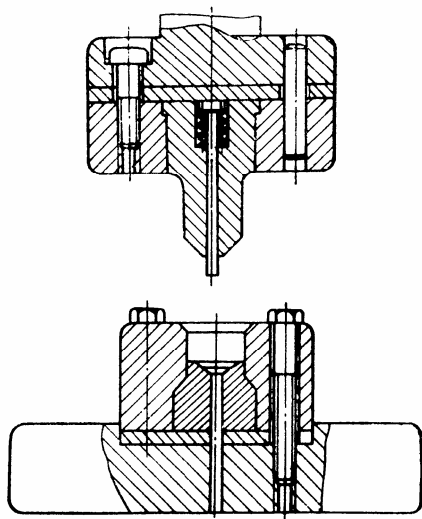


图 7-54 模口导向冷挤压模

7.5.2 冷挤压模具设计实例

图 7-55 所示为转子零件图，采用反向冷挤压工艺，模具设计程序如下。

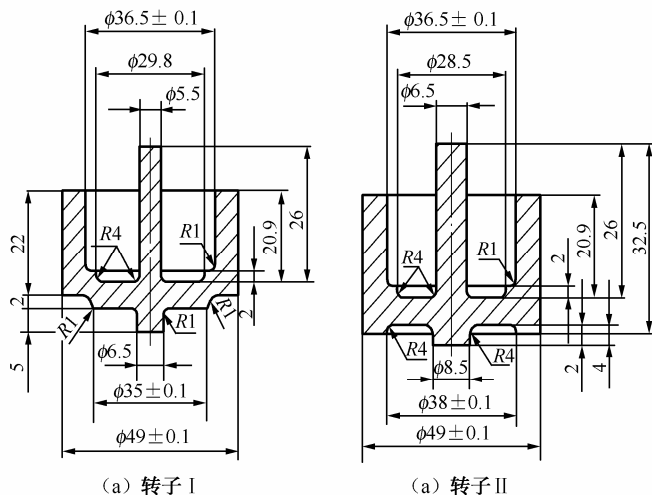


图 7-55 转子零件图 (20#钢)

1. 工艺计算部分 (以转子 I 为例)

(1) 转子 I 的体积 V_1

见表 5-6, 取修边余量为 3 mm, 则体积为:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \left(\frac{\pi}{4} 49^2 \times 25 + \frac{\pi}{4} 35^2 \times 2 + \frac{\pi}{4} 6.5^2 \times 5 + \frac{\pi}{4} 5.5^2 \times 29 - \frac{\pi}{4} 36.5^2 \times 21.9 - \frac{\pi}{4} 29.8^2 \times 2 \right) \\
 &= (1884.79 \times 25 + 961.63 \times 2 + 33.17 \times 5 + 23.75 \times 26 - 1045.82 \times 21.9 - 697.1 \times 2) \\
 &\approx 38\,800 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

(2) 转子 I 的坯料体积 V_0

根据金属在塑性变形中的体积不变原则, 得

$$V_0 = V_1 = 38\,800 \text{ mm}^3$$

因为是反挤压, 所以坯料直径取转子 I 的外径尺寸, 即

$$D = 49 \text{ mm}$$

毛坯高度 h_0 为:

$$h_0 = V_0 / A_0 = 38\,800 / (\pi D^2 / 4) \approx 20.5 \text{ mm}$$

(3) 相对变形程度 ε 的计算 (不考虑芯轴)

按表 5-12 中反挤筒形件计算。

$$\varepsilon_A = \frac{d_1^2}{D_0^2} \times 100\% = \frac{36.5^2}{49^2} \times 100\% \approx 55.5\%$$

相对变形程度的校核: 查图 5-8 可知, 20#钢的工件一次反挤压允许最大相对变形程度为 67%, 故转子可以一次挤压成形。

(4) 挤压力计算

按经验数据计算。

由参考文献[4]中的表 1-6-14 可查得 35#钢其反挤压单位挤压力为 1800~2200 MPa, 取 2000 MPa。

故挤压力:

$$F=A_d \times 2000 \text{ MPa} \approx 2040 \text{ kN}$$

根据机床安全要求, 取按经验数据计算的挤压力并乘以安全系数 1.3 来选择冷挤压机, 即按 $F=2040 \times 1.3$ 选择冷挤压机。

2. 模具设计部分

模具结构选如图 7-52 所示的正反挤通用模具, 并采用反拉杆式卸料装置。

模具工作部分的凹模采用垂直分模组合凹模, 这样可避免金属被挤入分模面内, 但凹模底和垫板的承压面积减小了, 从而增大了垫板所承受的单位压力。适当增加凹模的直径和厚度, 上述问题便可解决, 同时在凹模底加预应力压圈可以增加凹模底的强度。

7.6 连续模设计典型实例精析

一套模具可完成 2~3 道工序的冲压, 并分工步进行, 即靠条料的送进依次完成各工序, 这样的模具称为连续模。条料送进的正确定位依靠左右导板和定距刀。

连续模可获得最好的生产效率, 但其制造较单工序模复杂, 冲件位置精度较复合模低。复杂连续模(称多工位级进模)与简单连续模比较, 冲件位置精度高, 并可完成更多的工步和包括冲孔、落料、弯曲、翻边、拉深等在内的更复杂的工序, 其结构更复杂, 制造精度要求更高。

7.6.1 电器插座件多工位级进模设计

该电器插座件三个冲裁部位相邻很近, 需设计一个组合式凸模, 解决安装干涉问题。另外, 小角度的弯曲回弹准确控制较复杂。材料为 08F 钢, 厚度为 0.5 mm, 各未注公差尺寸均为 IT14 级, 生产批量为 30 万次, 如图 7-56 所示。成形工艺包括冲裁和弯曲等工序, 此外, 制件表面不得有划痕, 截断面不得有毛刺。为保证制件尺寸精度, 简化级进模具结构, 保证条料送进刚性, 异型冲裁分多次成形。经计算, 材料在垂直于纤维方向弯曲半径均大于 08F 钢最小弯曲半径, 满足成形要求, 但裁料时, 要注意考虑纤维方向。应尽量采取弯曲方向与材料毛刺方向一致的弯曲方式, 减小毛刺对制件弯曲质量的影响。

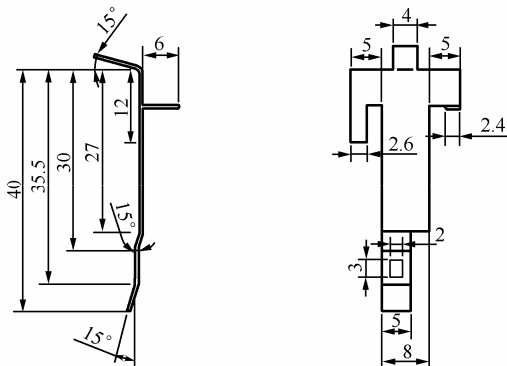


图 7-56 电器插座件零件图

1. 电器插座件级进模排样方案设计

电器插座件为简化级进模具结构, 保证条料送进刚性和稳定性, 减小级进模具工作面积,

减小级进模具发生故障及返修概率,采用单排、横排排列,如图 7-57 所示。将载体与连接桥设在中间,异型冲裁凸模相当于侧刃,用来做粗定位,导正销布置在条料中间连接桥部位,保证条料精确送进,且使冲裁毛刺保留在弯曲件的内侧,避免出现边口裂纹。而若采用单排、纵排排列,则条料后序弯曲工艺排样设计较复杂,不能保证条料送进刚性和稳定性,故不可取。

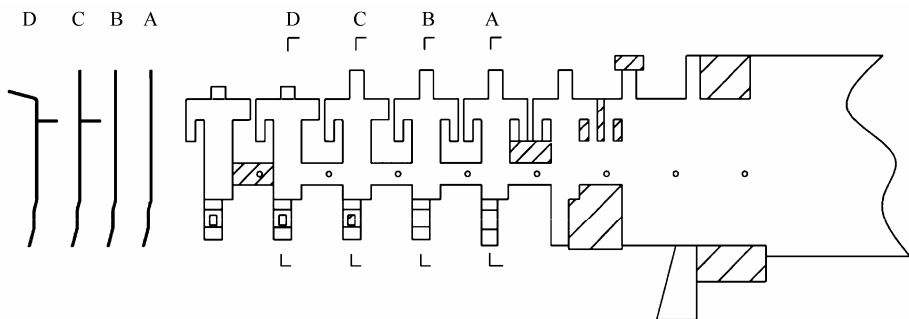


图 7-57 电器插座件横排排样图

2. 电器插座件级进模总体结构

电器插座件级进模装配图采用二视图绘制,如图 7-58 所示。模具工作过程:当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时,第一步,条料被冲孔凸模冲出导正销孔、零件外型孔,导正销起精定距作用;第二、三、六步,冲裁凸模进入凹模依次冲出零件外、内型孔;第四、五步,弯曲凸模进入弯曲凹模,依次小角度、向下弯出制件;最后一步,由切断凸模和弯曲凸模最终分割并弯曲出成品零件。

级进模在压弯后续工序中,在相应位置开有躲避孔,以方便条料顺利送进。为防止因合模不当或载荷偏心损坏凸模,应设置限位柱。弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式,以保证修配方便。

其中,凹模实际厚度 h = 理论厚度 H + 修磨量 b 。

理论厚度按下式计算:

$$H \geq 0.25\sqrt{Lp^2}$$

式中 L ——凹模轮廓周长;

p ——材料压强。

3. 弯曲回弹的控制

由公式 $\frac{\sigma_s r}{Et} < 0.1$ 判断弯曲为纯塑性弯曲,按公式 $r_p = \frac{r}{1 + \frac{3\sigma_s r}{Et}}$ 计算凸模圆角半径;再由

公式 $\alpha_p r_p = \alpha r$, 计算回弹角 $\Delta\alpha = \alpha_p - \alpha$ 。

式中 σ_s ——屈服应力 (MPa);

r ——制件半径 (mm);

E ——弹性模量 (无量纲);

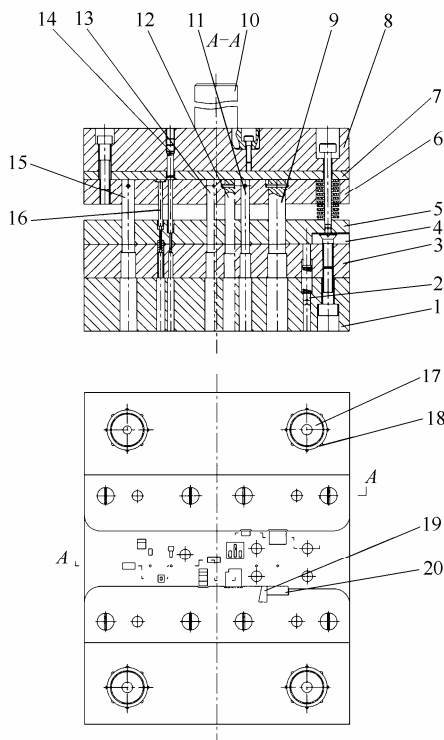
t ——材料厚度 (mm);

r_p ——凸模圆角半径 (mm);

α_p ——实际弯曲角度 ($^\circ$);

α ——理论弯曲角度 ($^{\circ}$)；

$\Delta\alpha$ ——回弹角度 ($^{\circ}$)。



1、8—模座；2—浮顶器；3—凹模板；4—导料板；5—卸料板；6—固定板；7—垫板；9、11、12、13、15、16—冲裁凸模；
10—模柄；14—导正钉；17—导柱；18—导套；19—挡块；20—侧刃

图 7-58 电器插座件级进模装配图

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度，使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带，改变其应力、应变状态，达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上，U 形弯曲利用锻压法可达到控制弯曲回弹的目的。锐角弯曲应采用先补偿再锻压的方法，效果更好。

4. 步距精度确定

多工位级进模步距精度经验公式如下：

$$\delta = \frac{\beta}{2\sqrt[3]{n}}k$$

式中 β ——冲件沿条料送进方向最大轮廓尺寸精度提高三级后的实际公差值；

n ——模具设计的工位数；

k ——修正系数；

δ ——步距精度公差值。

该电器插座件级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后，实践证明：该模具结构灵活、可靠，并能保证产品质量，成本低，对此类零件的级进模设计有重要参考价值。

7.6.2 侧弯支座件多工位级进模设计

该侧弯支座件异型冲裁外形较复杂,材料为 08F 钢,厚度为 1.0 mm,各未注公差尺寸均为 IT12 级,生产批量为 30 万次,如图 7-59 所示。成形工艺包括冲裁和弯曲等工序,此外,制件表面不得有划痕,截断面不得有毛刺。为保证制件尺寸精度,简化级进模具结构,异型冲裁分两次成形。经计算,材料在垂直于纤维方向弯曲半径均大于 08F 钢最小弯曲半径,满足成形要求,但裁料时,要注意考虑纤维方向,应尽量采取弯曲方向与材料毛刺方向一致的弯曲方式,减小毛刺对制件弯曲质量的影响。

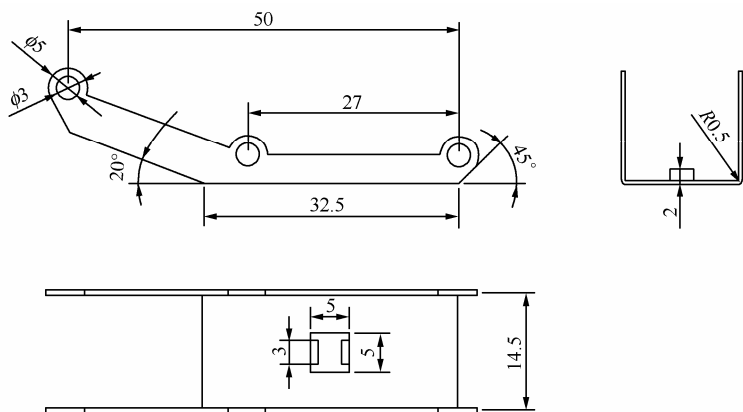


图 7-59 侧弯支座件零件图

1. 侧弯支座件级进模排样方案设计

侧弯支座件为简化级进模具结构,保证条料送进刚性和稳定性,减小级进模具工作面积,减小级进模具发生故障及返修概率,采用单排、纵排排列,如图 7-60 所示,将载体与连接桥设在中间,异型冲裁凸模相当于侧刃,用来粗定位,导正销布置在条料中间连接桥部位,保证条料精确送进。而若采用单排、横排排列,则条料送进抬起高度过高,不能保证条料送进的刚性和稳定性,故不可取。采用单排、纵排排列,在凹模内开滑槽,可避免条料送进抬起高度过高。

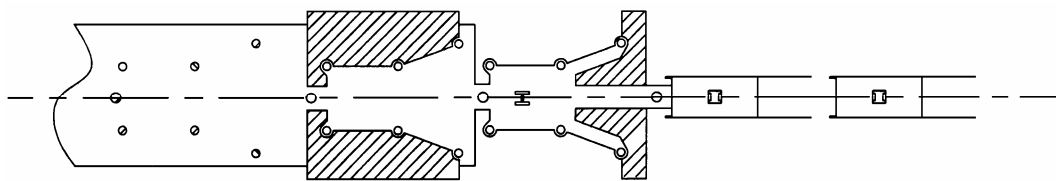


图 7-60 侧弯支座件纵排排样图

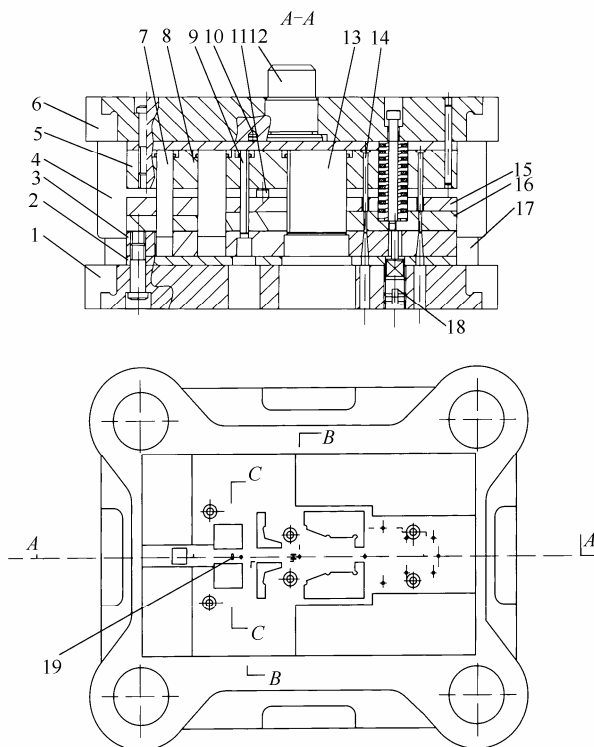
2. 侧弯支座件级进模总体结构设计

侧弯支座件级进模装配图采用二视图绘制,如图 7-61 所示。模具工作过程:采用自动送料机构送料,当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时,第一步,条料被冲孔凸模冲出导正销孔、零件内型孔,导正销起精定距作用;第二、三步,冲裁凸模冲出零件外、内型孔;第四、五步,弯曲凸模进入弯曲凹模,依次向下、两侧弯出制件;最后一步,由切断凸模最终分割出成品零件。

级进模在压弯后续工序中,在相应位置开有躲避孔,以便于条料顺利送进。U 形弯曲采

用向下弯出,既可降低抬料高度,又可防止条料送进被卡住。为防止因合模不当或载荷偏心损坏凸模,应设置限位柱。弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式,以保证修配方便。

其中,凹模实际厚度 $h = \text{理论厚度 } H + \text{修磨量 } b$ 。



1、6—模座；2—垫板；3—凹模板；4—导套；5—固定板；7、9、13、14—冲裁凸模；8、19—弯曲凸模；10—止动销；11—限位柱；12—模柄；15—护板；16—卸料板；17—导柱；18—防松螺母

图 7-61 侧弯支座件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

由公式 $\frac{\sigma_s r}{Et} < 0.1$, 判断弯曲为纯塑性弯曲, 按公式 $r_p = \frac{r}{1 + \frac{3\sigma_s r}{Et}}$ 计算凸模圆角半径, 再

由公式 $\alpha_p r_p = \alpha r$, 计算回弹角 $\Delta\alpha = \alpha_p - \alpha$ 。

式中 σ_s ——屈服应力 (MPa);

r ——制件半径 (mm);

E ——弹性模量 (无量纲);

t ——材料厚度 (mm);

r_p ——凸模圆角半径 (mm);

α_p ——实际弯曲角度 ($^\circ$);

α ——理论弯曲角度 ($^\circ$);

$\Delta\alpha$ ——回弹角度 ($^\circ$)。

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度,使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带,改变其应力、应变状态,达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上,U形弯曲利用锻压法可达到控制弯曲回弹的目的。锐角弯曲应采用先补偿再锻压的方法,效果更好。

4. 步距精度确定

多工位级进模步距精度经验公式如下:

$$\delta = \frac{\beta}{2\sqrt[3]{n}}k$$

式中 β ——冲件沿条料送进方向最大轮廓尺寸精度提高三级后的实际公差值;

n ——模具设计的工位数;

k ——修正系数;

δ ——步距精度公差值。

7.6.3 铰链支座件多工位级进模设计

该铰链支座件外形较复杂,且弯曲方向不一致,给送料带来一定困难,因此弯曲便成为设计关键。所冲孔均为工艺孔及槽,均需在弯曲前完成。考虑到要延长凸模寿命,较复杂的一些型孔要分步冲成。此件由于尖角处应力较集中,弯曲后易产生裂痕现象,因此采取两种防止尖角破裂的措施,即弯曲时将弯曲线移开些距离,另外还增加两个工艺槽。该双撑座板件材料为08镀锌钢板,厚度为1 mm,生产批量为30万次,如图7-62所示。成形工艺包括冲裁、弯曲等工序。

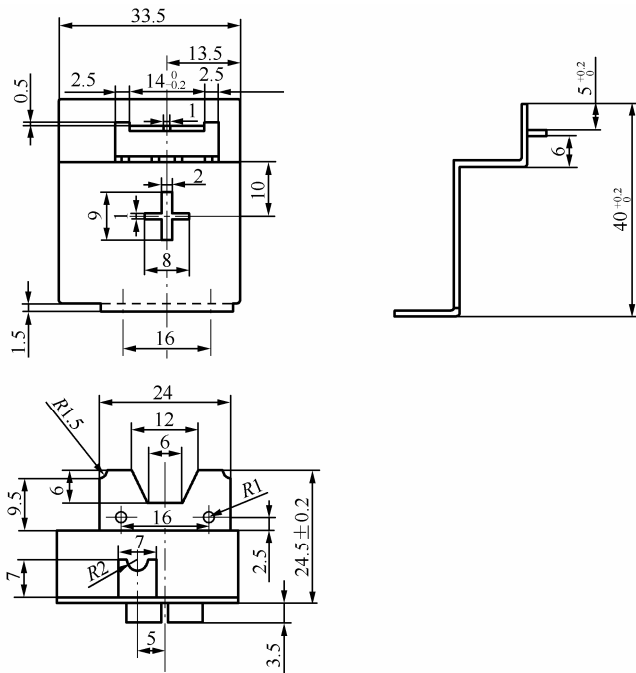


图 7-62 铰链支座件零件图

1. 铰链支座件级进模排样方案设计

(1) 主要排样方案分析

第一种排样方案是：制件按横排，主要考虑弯曲线应与材料纹线垂直，若制件三次弯曲采用竖排，则出件困难且弯曲结构复杂，搭边不易在中间或两侧加余料，因此，对该制件，横排比竖排优点多。第一步内型孔与外型孔一次冲出，第二步弯曲第一个内形中小片，第三步向上 U 形弯曲，第四步向下弯曲最后一道边。

第二种排样方案是：制件按横排，外形一次冲出，以确保形状准确。内型孔分三次冲出，主要考虑内型孔边较窄，大批量生产小凸模极易损坏。后续弯曲工序与第一种排样方案相同。

综合考虑材料利用率，制件尺寸精度，生产率，模具制造难易程度，使用寿命及模具制造成本等诸多因素，采用第二种排样方案。

(2) 工步设计

此冲件包括冲裁、弯曲等工序。工序设计的总体原则是先完成内形与外形的平面冲切工序，为后续弯曲工序做好准备。为使材料很好定位，先安排冲外形凸模做侧刃和冲导正销孔做精定位，在每步成形工步前，应先冲掉周围妨碍成形的废料。具体工步见图 7-63 双撑座板件排样方案图。

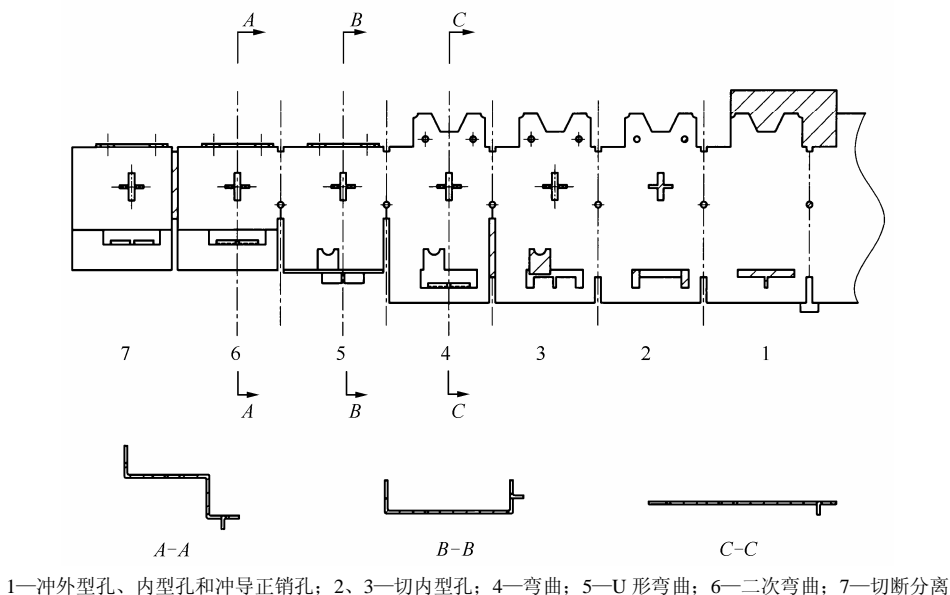
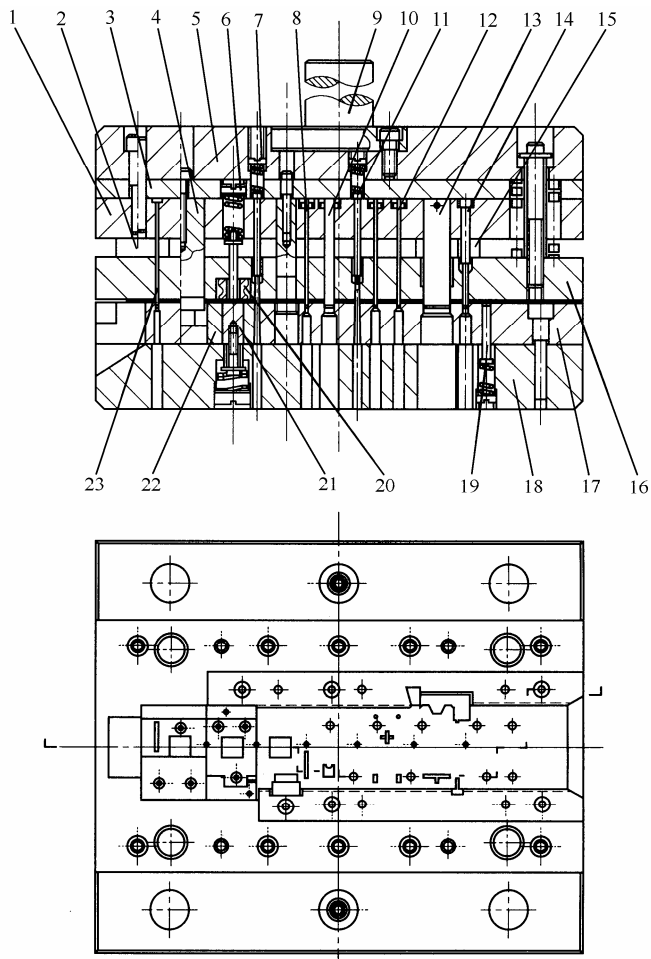


图 7-63 双撑座板件排样方案图

2. 铰链支座件级进模总体结构设计

铰链支座件级进模装配图采用二视图绘制，如图 7-64 所示。模具工作过程：采用双异型侧刃粗定距，当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，条料被侧刃凸模和冲孔凸模冲出导正销孔，零件内、外型孔，导正销起精定距作用；第二、三步，冲裁凸模进入凹模，依次冲出零件内型孔；第四步，翻边凸模进入凹模，完成翻边成形；第五、六步，弯曲凸模进入弯曲凹模，依次进行 U 形、二次弯曲，弯出制件；最后一步，由切断凸模最终分割出成品零件。



1—固定板；2—导柱；3—垫板；4—弯曲凸模；5—上模座；6—顶件器；7、11—导正销；8、10、12、13、14、15、23—冲裁凸模；9—模柄；16—卸料板；17—凹模；18—下模座；19—浮顶器；20—顶块；21、22—凹模拼块

图 7-64 铰链支座件级进模装配图

3. 关键部件的设计

(1) U 形弯曲凸模结构设计

判断弯曲为纯塑性弯曲，计算出凸模圆角半径，再计算出回弹角 $\Delta\alpha$ 。

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一一定斜度，使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带，改变其应力、应变状态，达到控制弯曲回弹的目的。

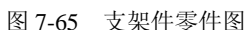
该模具 U 形弯曲应与卸料板同步，方可完成几个弯曲，即 U 形弯曲先完成，另两个弯曲凸模才开始弯曲。因此，弯曲凸模不能固定于固定板上，而只能固定于卸料板上。为防止回弹，在弯曲凸模下工作型面中部开设一段凹槽，使弯曲凸模圆角部分采用锻压形式弯曲条料，使成品件获得良好的质量。

(2) 凹模结构设计

该模具先冲裁后弯曲，所有冲裁都集中于弯曲前工序。考虑冲裁凹模容易损坏，为更换方便，凹模采用两块拼合成，所有冲裁凹模都集中于一块拼块上。三个弯曲凹模均采用镶件

7.6.4 支架件多工位级进模设计

该支架件材料为 08F 钢, 厚度为 0.5 mm, 各公差尺寸均为 IT14 级, 生产批量为 30 万次, 如图 7-65 所示。成形工艺包括冲裁、压凸包和弯曲等工序, 此外, 制件表面不得有划痕, 截面不得有毛刺。为保证制件尺寸精度, 简化级进模具结构, 弯曲和压凸包均一次成形。经计算, 压凸包工艺材料极限变形率远小于允许相对延伸率, 属胀形成形, 不会引起周围材料流动, 材料在垂直于纤维方向弯曲半径均大于 08F 钢最小弯曲半径, 也满足成形要求, 但裁料时, 要注意考虑纤维方向。应尽量采取弯曲方向与材料毛刺方向一致的弯曲方式, 减小毛刺对制件弯曲质量的影响。



1. 支架件级进模排样方案设计

支架件为简化级进模具结构, 保证条料送进刚性和稳定性, 减小级进模具工作面积, 减小级进模具发生故障及返修概率, 采用单排、横排排列, 如图 7-66 所示, 将载体与连接桥设在一侧, 另一侧用侧刃粗定位, 导正销布置在条料单侧连接桥部位, 保证条料精确送进。而若采用单排、纵排排列, 如图 7-67 所示, 则载体在二次切边处强度不够, 不能保证条料送进刚性和稳定性, 故不可取。

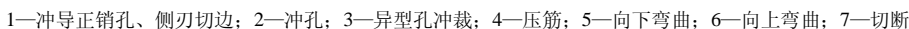


图 7-66 支架件横排排样图

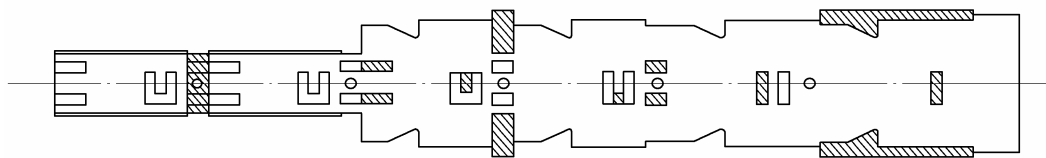
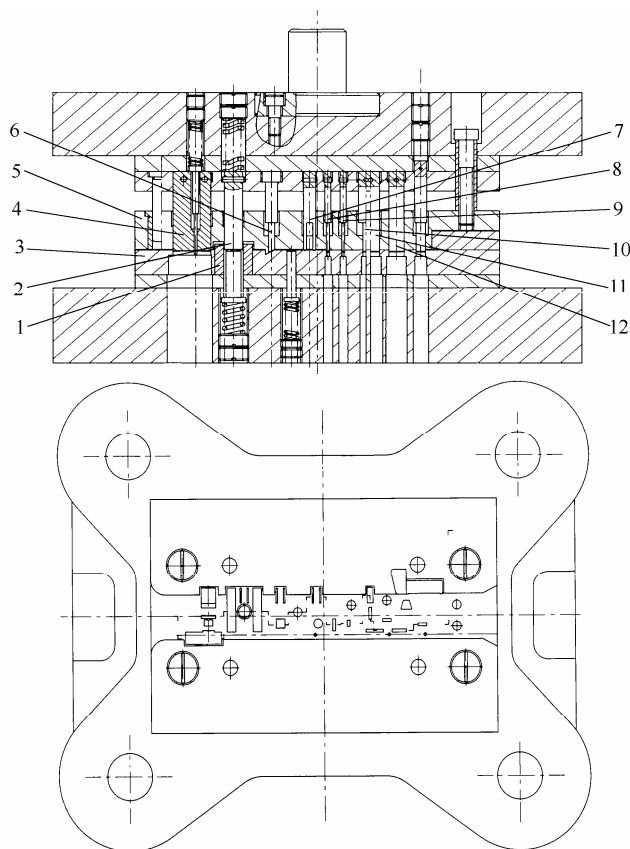


图 7-67 支架件纵排排样图

2. 支架件级进模总体结构设计

支架件级进模装配图采用二视图绘制，如图 7-68 所示。模具工作过程：采用双侧刃粗定距，当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，条料被侧刃凸模和冲孔凸模冲出导正销孔、零件内型孔，导正销起精定距作用；第二步、第三步，冲裁凸模冲出零件外型孔；第四步，凸模压筋；第五、六步，弯曲凸模进入弯曲凹模，依次向下、向上弯出制件；最后一步，由切断凸模最终分割出成品零件。

级进模在起伏成形与压弯后续工序中，在相应位置开有躲避孔，便于条料顺利送进。U形弯曲采用向上弯出，既可降低抬料高度，又可防止条料送进时被卡住。为防止因合模不当或载荷偏心损坏凸模，应设置限位柱。弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式，以保证修配方便。



1—弯曲镶块；2、6—弯曲凸模；3—凹模板；4、8、9、10、11、12—冲裁凸模；5—卸料板；7—压筋凸模

图 7-68 支架件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和镦压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度,使工件出模后正好符合规定的角度。镦压法是镦压工件弯曲带,改变其应力、应变状态,达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上,U形弯曲利用镦压法可达到控制弯曲回弹的目的。锐角弯曲应采用先补偿再镦压的方法,效果更好。

该支架件级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后,实践证明:该模具结构灵活、可靠,并能保证产品质量,成本低,对此类零件的级进模设计有重要参考价值。

7.6.5 支撑板件多工位级进模设计

该支撑板件弯曲外形较复杂,需三次弯曲。材料为 08F 钢,厚度为 1.0 mm,生产批量为 30 万次,如图 7-69 所示。成形工艺包括冲裁、弯曲等工序,此外,制件表面不得有划痕,截断面不得有毛刺,未注尺寸公差为 IT14。钩形一次弯曲成形较困难,经可行性分析,需在级进模上经二次弯曲成形,且必须严格控制每步弯曲回弹。经计算,材料在垂直于纤维方向上弯曲半径均大于 08F 钢最小弯曲半径,满足成形要求,但裁料时,要注意考虑纤维方向。应尽量采取弯曲方向与材料毛刺方向一致的弯曲方式,减小毛刺对制件弯曲质量的影响。

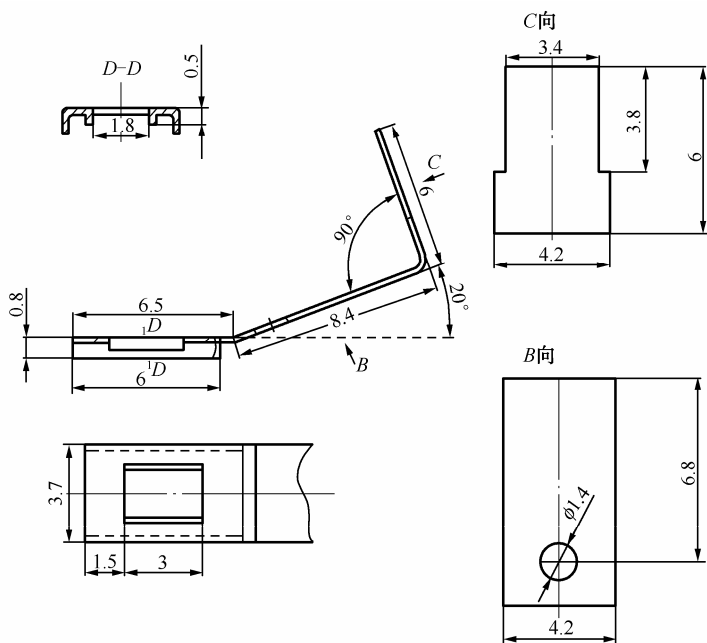
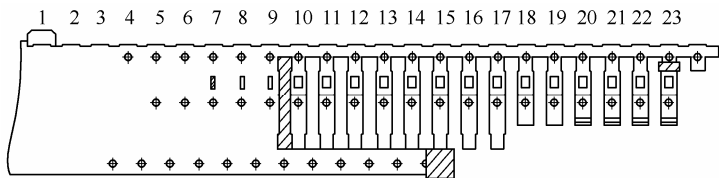


图 7-69 支撑板件零件图

1. 支撑板件级进模排样方案设计

支撑板件为简化级进模具结构,降低制造成本,保证条料送进的刚性和稳定性,减小级进模具工作面积,减小级进模具发生故障及返修概率,采用单排、横排排列。由于制件尺寸小,增加了许多空位,以扩展狭小的冲压空间,增加级进模具寿命。钩形弯曲需经 90° 弯曲和 20° 二次弯曲完成。导正销布置在条料双侧连接桥部位,保证条料精确送进。当制件弯侧边时,在第 15 工位设置切刀切除部分连接桥,使条料变为单侧载体。前 14 步采用双桥、双侧

载体, 后续工步采用单桥、单侧载体排样方案, 如图 7-70 所示。钩形弯曲带附近的孔可先进行冲孔, 然后弯曲成形, 虽可能有微变形, 但不影响使用, 这样安排比先弯曲、后冲孔的方法, 降低了设计制造难度与成本。

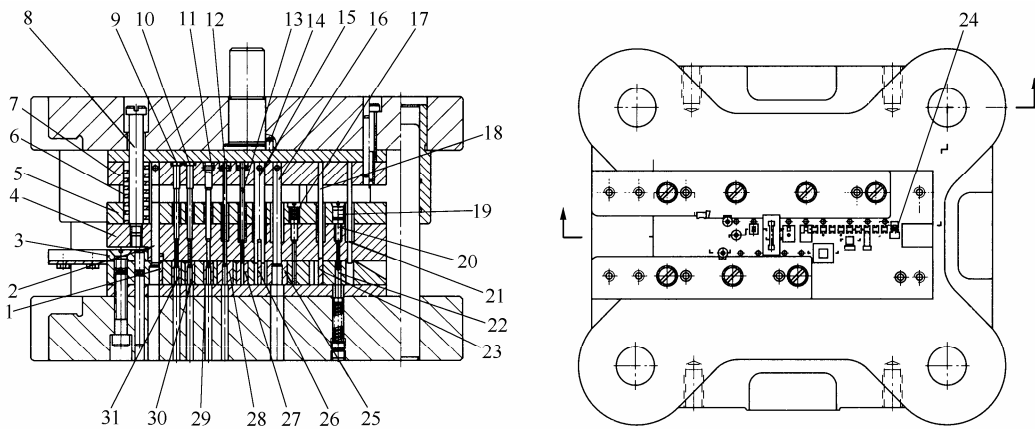


1—侧刃冲裁; 2、3、6、8、10、12、14、16、17、19、21、22—空位; 4—冲导正销孔; 5、7—冲孔; 9—异型冲裁;
11—切孔; 13—压弯两边; 15—单边切断; 18—90° 弯曲; 20—20° 弯曲; 23—最后切断

图 7-70 支撑板件排样图

2. 支撑板件级进模总体结构设计

支撑板件级进模装配图采用二视图绘制, 如图 7-71 所示。模具工作过程: 采用单侧刃粗定距, 当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时, 第 1 步, 条料被侧刃凸模冲裁; 第 2、3、6、8、10、12、14、16、17、19、21、22 步, 为空位, 凸模不完成任何动作; 第 4 步, 冲孔凸模冲出导正销孔; 第 5、7、9、11、15 步, 冲裁凸模依次进入凹模, 冲出相应型孔; 第 13 步, 弯曲凸模进入凹模弯出零件侧壁; 第 18、20 步, 弯曲凸模进入凹模, 依次完成 90° 弯曲和 20° 二次弯曲; 最后一步, 由切断凸模最终分割出成品零件。级进模采用弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式, 以保证修配方便。



1—侧刃挡块; 2—侧刃凸模; 3—导料板; 4—卸料板; 5—卸料垫板; 6—卸料弹簧; 7—固定板; 8—卸料螺钉;
9、10、11、12、15、16、21—冲裁凸模; 13、18—弯曲凸模; 14—止动销; 17、20—导正销; 19—圆柱销;
22—浮顶器; 23—弯曲镶块; 24、25、26、27、28、29、30、31—凹模镶块

图 7-71 支撑板件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度, 使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带, 改变其应力、应变状态, 达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上, 90° 直角弯曲利用锻压法可达到控制弯曲回弹的目的。20° 弯

曲应先进行补偿再镦压,效果更好。

该支撑板件级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后,实践证明:该模具结构灵活、可靠,并能保证产品质量,成本低,对此类零件的级进模设计有重要参考价值。

7.6.6 角片片多工位级进模设计

该角片片外形尺寸的多次拉深在级进模中较难设计,材料为 H62,厚度为 0.8 mm,生产批量为 100 万次,如图 7-72 所示。成形工艺包括冲裁、U 形弯曲和拉深等工序。设计上,着重解决管座件多次拉深及弯曲成形,以保证零件尺寸精度。考虑到第一、二次拉深载体表面变形较大,不适宜在第一、二次拉深工步中冲导正孔,因此,在第二次拉深后冲导正孔。前四工步靠侧刃即可保证冲裁与拉深要求的定位精度。另外,由于零件弯曲部分材料需用拉深部分的凸缘经冲裁后给出,故必须采用宽凸缘拉深。经计算,材料在垂直于纤维方向和平行于纤维方向最小弯曲半径均满足要求。最后弯曲需经过试模调整。此模具结构特点是在第一次拉深工步中,在卸料板上安装压边圈,以保证载体表面形状。在最后工步落料和弯曲复合,既减少工步,又保证定位尺寸精度。

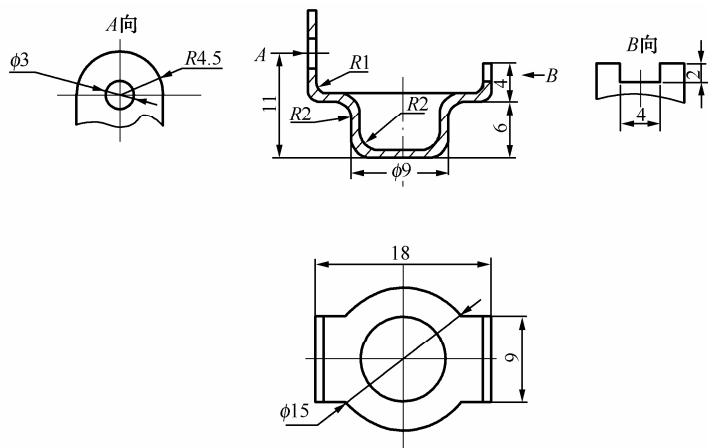
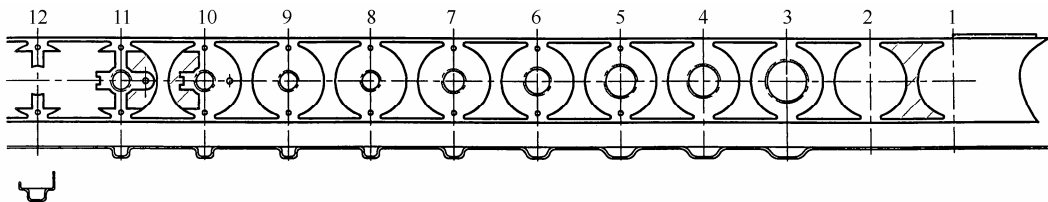


图 7-72 角片片零件图

1. 角片片级进模排样方案设计

角片片排样方案初选三个排样方案。方案一采用单排无切口带料连续拉深,由于相邻两拉深件间材料相互制约,材料在纵向流动困难,变形较大,易拉裂。虽可采用较大拉深系数的材料但会增加许多工步,增加了模具制造成本,且废品率较高。方案二采用弧形切口带料连续拉深,由于圆筒件连续拉深时,周围材料都参与变形,采用此方案可避免带料载体变形而影响工件位置,但此方案模具加工较困难,制造成本较高,经济性较差。方案三采用冲缺口带料连续拉深,由于此方案相邻两拉深件间材料相互影响较小,类似于单个毛坯拉深件,与无切口带料连续拉深相比,可减少拉深次数;与弧形切口带料连续拉深相比,简化级进模具结构,降低制造成本,综合平衡考虑最后采用第三种方案,如图 7-73 所示。



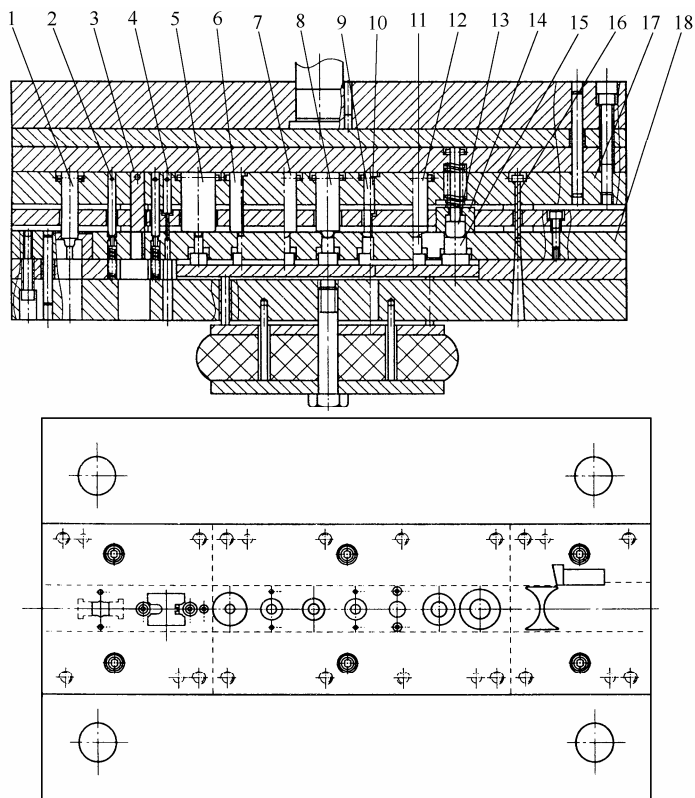
1—冲侧刃；2—冲缺口；3—第1次拉深；4—第2次拉深；5—冲导正销孔；6—第3次拉深；7—第4次拉深；

8—第5次拉深；9—校形；10—冲孔；11—切边；12—弯曲并切断

图 7-73 角片冲缺口带料连续拉深排样图

2. 角片片级进模总体结构设计

角片片级进模装配图采用二视图绘制，如图 7-74 所示。模具工作过程：采用单侧刃粗定距，当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，条料被侧刃凸模冲出局部外形，侧刃凸模起粗定距作用；第二步，冲孔凸模冲出零件缺口孔，可避免带料载体变形而影响工件位置；第三、四步，拉深凸模进入凹模，依次进行第 1、2 次拉深；第五步，冲孔凸模冲出导正销孔，导正销起精定距作用；第六、七、八步，拉深凸模进入凹模，依次进行第 3、4、5 次拉深；第九步，校形凸模进入凹模，校形拉深件；第十步，冲孔凸模冲出内孔；第十一步，切边凸模进入凹模，部分分离拉深件；最后，由弯曲凸模与切断凸模最终弯曲并分割出成品零件。



1—落料、弯曲凸模；2、9—定位凸模；3—切边凸模；4、10、16—冲孔凸模；5—校形凸模；6、7、8、12、13—拉深凸模；

11、15—顶出器；14—压边圈；17—固定板；18—凹模板

图 7-74 角片片级进模装配图

3. 拉深工艺尺寸控制

此角片制件的宽凸缘拉深每次拉深高度基本不变, 根据必须保证拉深制件前后变形区内的表面积相等而不破裂、变薄的原则, 逐步缩小底部圆角半径、凸缘圆角半径和筒径, 最终成形制件, 且在拉深后多次采用定位凸模, 防止条料窜动, 保持最终成形制件表面光滑平整, 厚度均匀, 较适合于相对厚度较大的拉深制件。

该角片片级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后, 实践证明: 该模具结构灵活、可靠, 并能保证产品质量, 成本低, 对此类零件的级进模设计有重要参考价值。

7.6.7 拉簧钩件多工位级进模设计

该拉簧钩件, 材料为 08F 钢, 厚度为 1.0 mm, 生产批量为 30 万次, 未注公差按 IT14 级, 如图 7-75 所示。该件虽成形工艺并不复杂, 但在满足用户要求前提下, 如何设计较简单的凸、凹模型面结构, 同时采用一般件公差等级制造, 以降低制造成本, 获得较大的经济效益, 却有一定难度。因制件上的 $R10$ 为半圆形, 若采用整体凸、凹模冲切, 则其型面较复杂, 制造成本较高, 必使利润率极低; 若采用凸、凹模分步冲切, 则其 $R10$ 圆度, 由于步距累积误差, 必产生较大毛刺, 很难保证产品质量, 若较大幅度提高步距精度, 也同样使利润率极低。因此, 本套模具通过增加空步, 在空步后工序设计凸模前后搭接分步冲切, 切接 $R10$ 半圆形, 并适当提高步距精度, 较好解决上述矛盾。

1. 制件弯曲工艺分析

弯曲制件的圆角半径应大于最小弯曲半径, 以免产生裂纹, 该件材料为 08F 钢, 已知弯曲方向与轧纹垂直时, 最小弯曲半径为 $0.1t$, 该件弯曲半径为 1 mm, 远大于 $0.1t$, 因此, 其弯曲性能良好。此外, 制件上的弯曲经计算可一次弯曲成形, 但弯曲回弹必须严格控制, 该模具在弯曲凸模上开负回弹角度来控制回弹。当弯曲直角时, 为保证该件弯曲质量, 必须满足弯曲制件直边高度大于料厚的两倍, 否则不易得到形状准确的制件, 该件最小弯曲直边高度为 3 mm, 大于两倍料厚, 因此不必采取预先压槽弯曲或加高直边, 弯曲后再切除的方法。当弯曲带孔条料时, 必须使孔位于弯曲变形区之外, 才能采取先冲孔、后弯曲的工序。经计算该件孔位于弯曲变形区之外, 因此先冲孔、后弯曲不会发生形变。

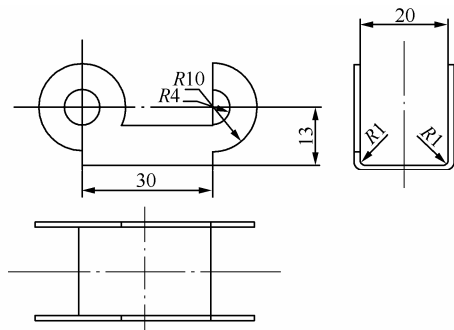


图 7-75 拉簧钩件零件图

2. 拉簧钩件级进模排样方案设计

(1) 排样方案论证

初选两种典型排样方案。第一种排样方案为横排。弯曲制件沿条料中心线方向弯曲, 采用中间载体做连接桥, 依次为侧刃切边、冲导正销孔及制件的三个孔、冲外形、弯曲和分离。

第二种排样方案为纵排。弯曲方向与条料中心线方向垂直,不能采用中间载体形式,而采用两侧载体形式。工序安排与第一种排样方案类似。第一种排样方案采用横排的送进步距小于第二种排样方案采用纵排的送进步距,因此减小了模具工作面积,降低了成本。第一种排样方案的材料利用率高于第二种排样方案。在弯曲工位,第一种排样方案采用向下弯曲,为便于出件,在凹模上可开出滑槽,同时,向下弯曲可以保证毛刺位于弯曲内侧。而第二种排样方案若采用向下弯曲,则使出件困难,因此,必须采用倒冲机构,这肯定增加了模具的复杂性,增加了模具成本。因此,采用第一种排样方案。

(2) 工步设计

此冲件包括冲裁、弯曲等工序。为使材料很好定位,首先安排冲制外型孔,它有侧刃的粗定位作用,然后冲导正销孔,在每步成形工步前,应先冲掉周围妨碍成形的废料。具体工步如下:第一步,冲制外型孔和冲导正销孔;第二步,冲裁;第三步,空位;第四步,冲裁;第五步,弯曲;第六步,切断。拉簧钩件排样图如图 7-76 所示。

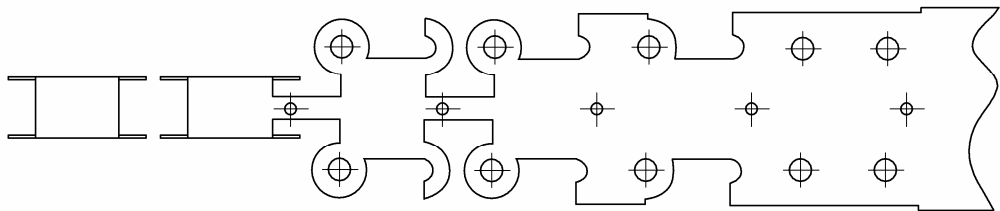


图 7-76 拉簧钩件排样图

3. 拉簧钩件级进模总体结构设计

拉簧钩件级进模装配图采用二视图绘制,如图 7-77 所示。模具工作过程:采用单侧刃粗定距,当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时,第一步,条料被侧刃凸模和冲孔凸模冲出导正销孔、零件外型孔,导正销起精定距作用;第二、四步,冲裁凸模进入凹模冲出零件异型孔;第三步,冲裁凸模进入凹模,不完成任何任务;第五步,弯曲凸模进入弯曲凹模,弯出零件侧壁;最后一步,由切断凸模最终分割出成品零件。级进模采用弹性卸料板以保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式,以保证修配方便。

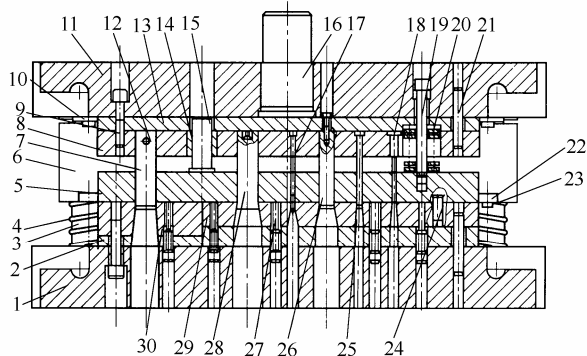
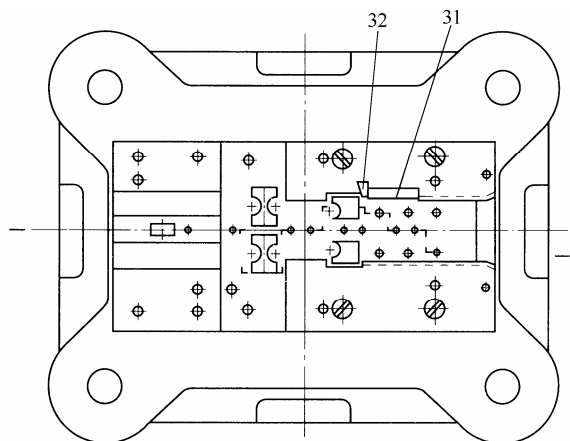


图 7-77 拉簧钩件级进模装配图



1—下模座；2—凹模垫板；3、15—导柱；4—弹簧；5—卸料板；6、14—导套；7—切断凸模；8—固定板；9、24—螺钉；
10—压板；11—上模座；12、21—圆柱销；13—上垫板；16—模柄；17—导正销；18、25、26—冲孔凸模；19—卸料螺钉；
20—矩形弹簧；22—导料板；23—承料板；27—浮顶器；28—异型凸模；29、30—凹模拼块；31—侧刃；32—挡块

图 7-77 拉簧钩件级进模装配图（续）

该拉簧钩件级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后，实践证明：该模具结构灵活、可靠，并能保证产品质量，成本低，对此类零件的级进模设计有重要参考价值。

7.6.8 接插件多工位级进模设计

图 7-78 所示接插件材料为 H62M，厚度为 0.5 mm，其弯曲工序较复杂，生产批量为 100 万次。成形工艺包括冲裁、弯曲等工序。考虑到接插件在电器行业中的重要性，边缘不允许有毛刺，因此，选用精密小间隙进行冲裁。制件上的弯曲部分既有向上弯曲又有向下弯曲，必须采用倒冲机构来保证产品质量。弯曲部分还有 Z 形弯曲，如果采用一次弯曲成形，弯曲回弹将很难控制，因此，考虑采用分步弯曲，最后采用校正工步来保证产品质量。制件上的两孔作为导正销孔，可提高材料利用率。

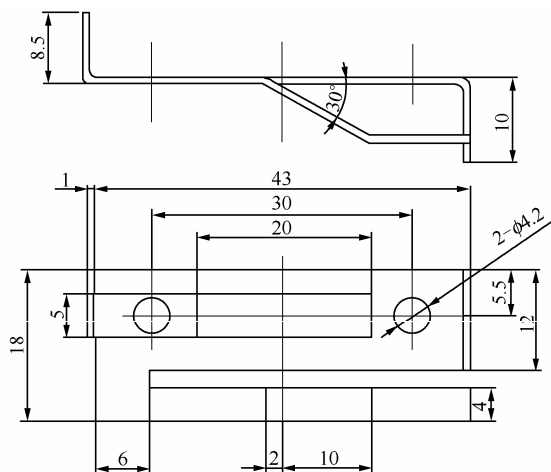


图 7-78 接插件零件图

1. 接插件级进模排样方案设计

初选三种排样方案。第一种排样方案的工步依次为冲导正销孔、冲外形、Z形一次弯曲、Z形二次弯曲、向上弯曲的倒冲、校正弯曲及分离。该排样方案主要的缺陷是，由于累积误差，在分离工步会出现许多毛刺，很难保证产品质量。第二种排样方案的工步依次为冲导正销孔、冲外形、一次倒冲弯曲、Z形二次弯曲、校正弯曲、宽边向下弯曲及先分离后弯曲。该排样方案主要的优点是：分离工步不受步距累积误差影响，不会出现毛刺。缺陷是：与载体相连的连接桥较窄，导致送料强度不足。第三种排样方案对前二种排样方案不足进行了以下改进：将与载体分离部分安排在宽边，对同一边采用一次冲裁完成，解决了毛刺问题，立体弯曲部分尽量在后序安排，以简化模具结构和顺利出件。具体排样方案如图 7-79 所示。

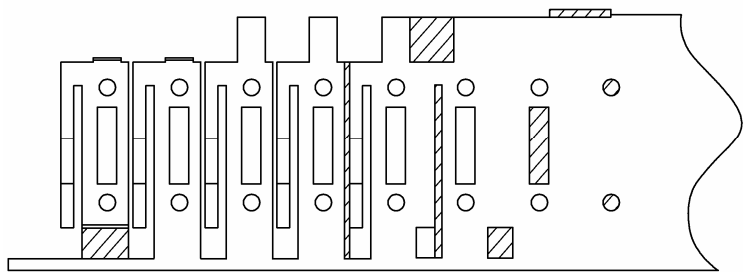


图 7-79 接插件排样图

2. 接插件级进模总体设计

(1) 总体结构设计

图 7-80 所示为接插件级进模装配图。模具工作过程如下：采用单侧刃粗定距，当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，由侧刃凸模和冲孔凸模在条料上冲出导正销孔、零件外型孔，导正销起精确定距作用；第二、三、四步，冲裁凸模进入凹模，依次冲出零件内、外异型孔；第五、六、七、八步，弯曲凸模进入弯曲凹模，依次向下、向上两方向弯出制件；第九步，由切断凸模最终分割出成品零件，并弯曲成形。

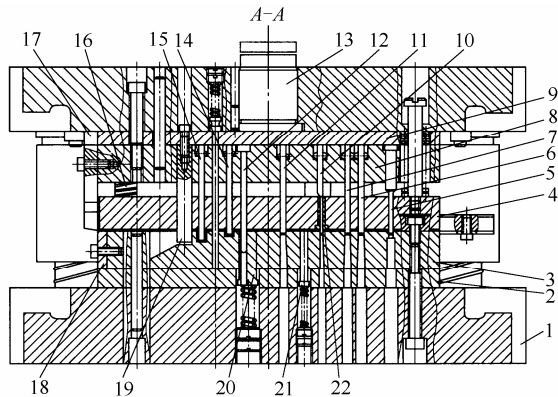
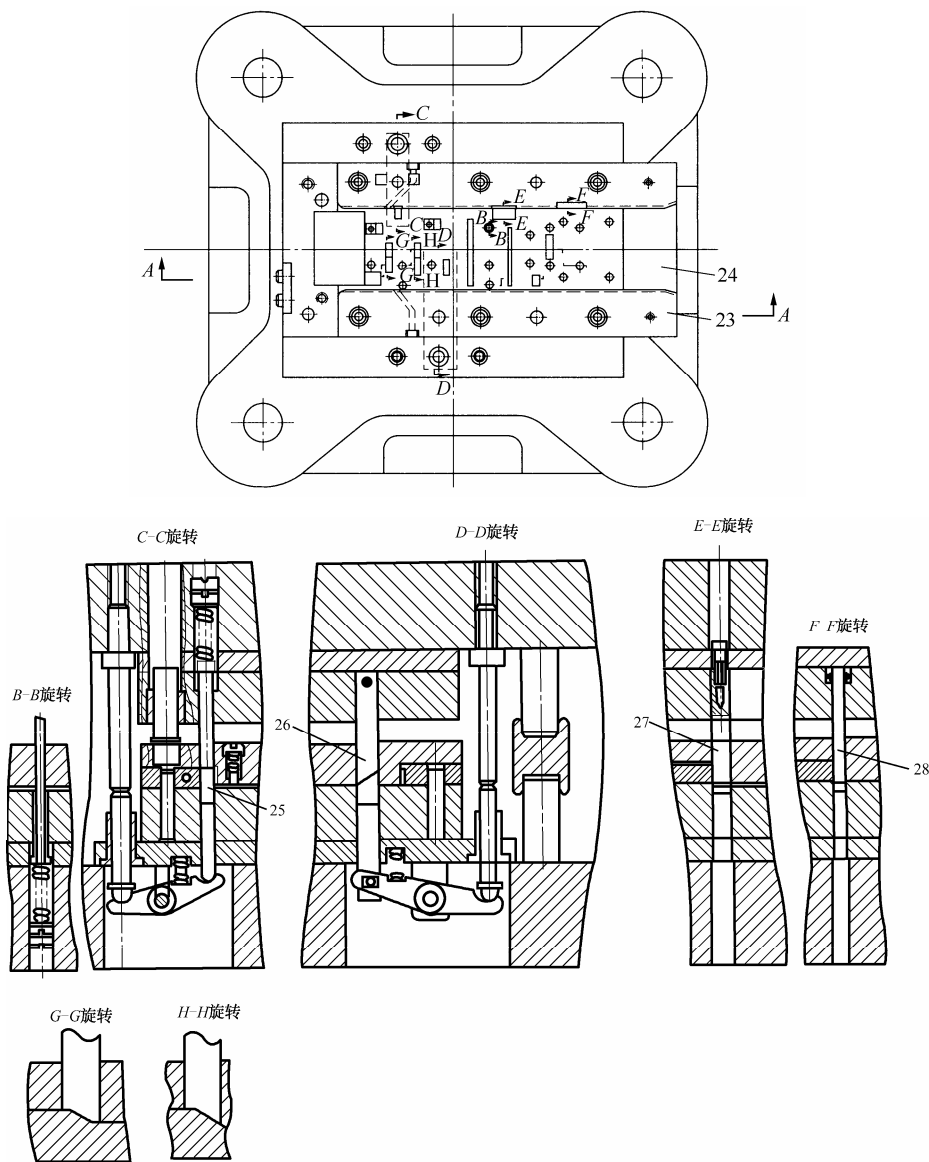


图 7-80 接插件级进模装配图



1—下模座；2、9—垫板；3—凹模；4—卸料板；5、6、7、10、11、27、28—冲裁凸模；8—固定板；12—导正销；
13—模柄；14、15、19、25、26—弯曲凸模；16—卸料弹簧；17—废料切刀；18—挡块；20、21—浮顶器；
22—保护套；23—导料板；24—承料板

图 7-80 接插件级进模装配图 (续)

(2) 倒冲机构设计

制件上的弯曲部分既有向上弯曲又有向下弯曲，因此，必须采用倒冲机构来保证产品质量。该模具结构需要设两个倒冲机构。第一个倒冲机构，采用上面顶杆，同时，杠杆上安装弹簧，使凸模可靠复位。倒冲直角弯曲，采用角度补偿法控制回弹，通过在卸料板内安装弹顶器，防止条料卡在卸料板内。第二个倒冲机构，另加一块支撑板支撑杠杆，采用弹簧复位。

3. 弯曲回弹的控制

常用补偿法和锻压法来控制弯曲回弹。补偿法是在模具相应位置开出一一定斜度，使工件

出模后正好符合规定的角度。镦压法是镦压工件弯曲带, 改变其应力、应变状态, 达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上, 利用镦压法进行直角弯曲可达到控制弯曲回弹的目的。采用先补偿再镦压的方法进行锐角弯曲, 效果更好。

该接插件级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后, 实践证明: 该模具结构灵活、可靠, 并能保证产品质量, 成本低, 对此类零件的级进模设计有重要参考价值。

7.6.9 卷圆件多工位级进模设计

该卷圆件外形尺寸的圆度在级进模中较难控制, 材料为 10F 钢, 厚度为 1.0 mm, 生产批量为 100 万次, 如图 7-81 所示。成形工艺包括冲裁、弯曲等工序。设计上, 着重解决卷圆弯曲成形的问题, 经计算, 材料在垂直于纤维方向和平行于纤维方向最小弯曲半径均满足要求。卷圆弯曲成形需经过 60° 弧形弯曲、 90° 弧形弯曲、 90° 反向直角弯曲、 90° 弧形向下压弯成 180° 弧形弯曲、 350° 弧形弯曲、最后卷圆校形弯曲。其中 90° 反向直角弯曲和 90° 弧形向下压弯成 180° 弧形弯曲在同一工步完成。 350° 弧形弯曲到最后卷圆校形弯曲需经过试模调整。在第五步 90° 弧形弯曲中, 为避免由于此步制件弯曲回弹干涉下一步 180° 弧形弯曲, 必须对此步制件弯曲回弹严格控制, 通过加大弯曲角和在弯曲凸模上增加镦压带的措施, 来解决可能发生的弯曲回弹干涉问题。对其他工步制件弯曲回弹, 经计算回弹角未超出制件公差要求, 但考虑实际冲压中各种复杂因素, 设计中都不同程度地缩小了弯曲凸、凹模圆角半径, 严格控制弯曲回弹造成的制件形变。

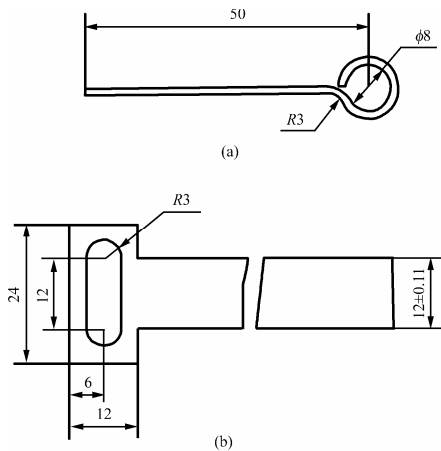


图 7-81 卷圆件零件图

1. 卷圆件级进模排样方案设计

卷圆件为简化级进模具结构, 降低制造成本, 保证条料送进刚性和稳定性, 减小级进模具工作面积, 减小级进模具发生故障及返修概率, 采用单排、横排排列最佳。采用双排排列和斜排排列会使弯曲凸模易发生结构干涉问题, 同时人为地增加了设计和制造成本。具体单排、横排排样方案如图 7-82 所示。

具体工步内容如下: 第一步, 冲导正销孔、侧刃孔; 第二步, 冲切长圆孔; 第三步, 切边; 第四步, 60° 弧形弯曲; 第五步, 90° 弧形弯曲; 第六步, 90° 反向直角弯曲和 90° 弧形向下压弯成 180° 弧形弯曲; 第七步, 350° 弧形弯曲; 第八步, 卷圆校形弯曲; 第九步, 切断。

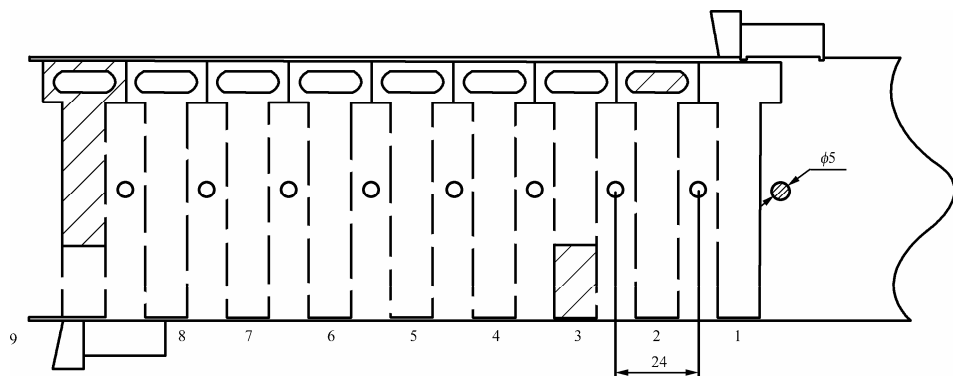
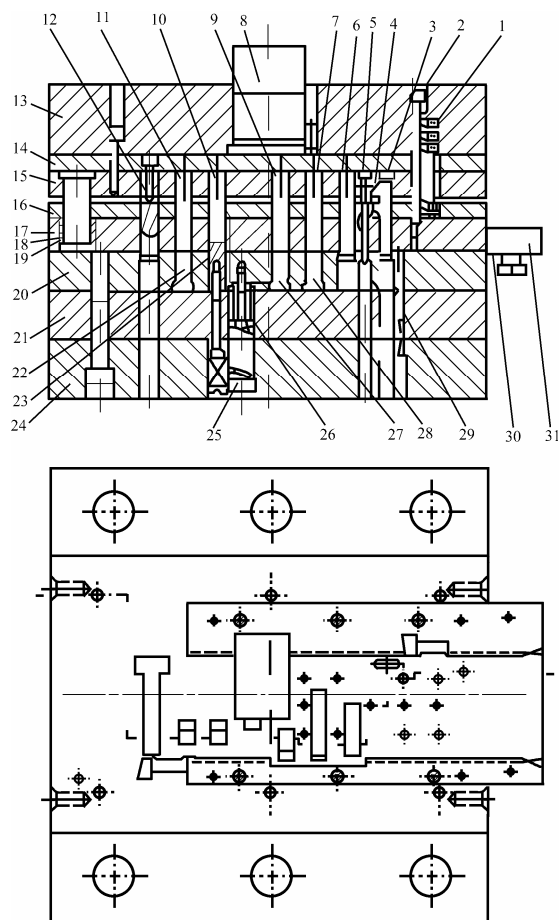


图 7-82 卷圆件排样图

2. 卷圆件级进模总体结构设计

卷圆件级进模装配图采用二视图绘制，如图 7-83 所示。



- 1—矩形弹簧；2—卸料螺钉；3、6—冲裁凸模；4—弹顶器；5—导正销；7、9、10、11—弯曲凸模；8—模柄；12—冲裁凸模；
13—上模座；14、21—垫板；15—固定板；16—卸料垫板；17—卸料板；18—小导套；19—小导柱；20—凹模板；
22、23、27、28—弯曲凹模；24—下模座；25—丝堵；26—衬套；29—浮顶器；30—承料板；31—导料板

图 7-83 卷圆件级进模装配图

3. 关键部件的设计

(1) 弯曲凸、凹模的设计

为便于维修更换,从第四步到第八步的弯曲凹模均设计为镶块形式,为控制弯曲凸模行程,必须在模具上加限位柱。对于第六步的向上翻弯,需将弯曲凸模安装在卸料板并在试模后最终确定。因此,卸料板上的矩形弹簧需提供足够的弯曲成形力以保证弯曲成形。同时,在弯曲凹模板上设计浮顶结构,以提供足够的弯曲压料力。第七步的向下卷圆弯曲成形,因需弯曲较高直边,应在第六步采取措施来控制弯曲回弹。最后的弯曲卷圆成形工步,弯曲凹模板上圆弧中心应高出凹模面 0.5 mm,以保证弯曲凹模和弯曲凸模的曲率中心与制件的卷圆成形中心重合,如图 7-84 所示。

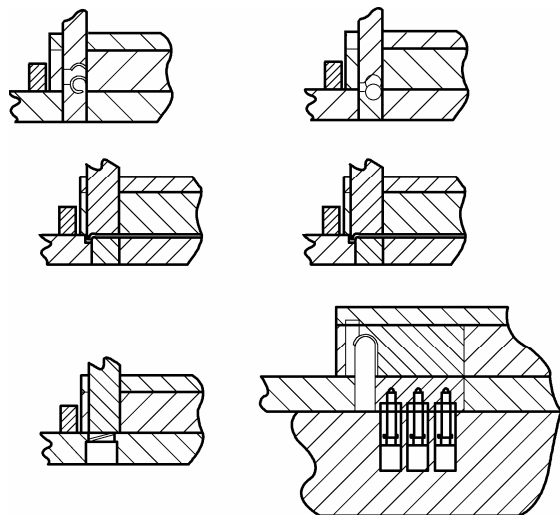


图 7-84 卷圆弯曲凸、凹模成形示意图

(2) 校平模与冲裁平接的设计

因在第三步中,有切口部位,故凸模设计为斜刃冲切。为保证制件弯曲质量,需在第六步弯曲成形的同时,进行制件校平。因制件不允许有压痕,采用光面校平模进行校平。最后切断工步,为 T 形冲裁,与第三步中切口部位要很好地平接,端面偏差应小于直线度公差。

7.6.10 托架件多工位级进模设计

该托架件异型冲裁分多次搭接较复杂,材料为 08F 钢,厚度为 1.0 mm,各公差尺寸均为 IT12 级,生产批量为 30 万次,如图 7-85 所示。成形工艺包括冲裁和弯曲等工序,此外,制件表面不得有划痕,截断面不得有毛刺。为合理分布冲压力,降低级进模具设计与制造难度,异型冲裁分多次进行。经计算,异型冲裁最小凸、凹模壁厚均满足强度要求。材料在垂直于纤维方向弯曲半径均大于 08F 钢最小弯曲半径,也满足成形要求,但裁料时,要注意考虑纤维方向。应尽量采取弯曲方向与材料毛刺方向一致的弯曲方式,减小毛刺对制件弯曲质量的影响。

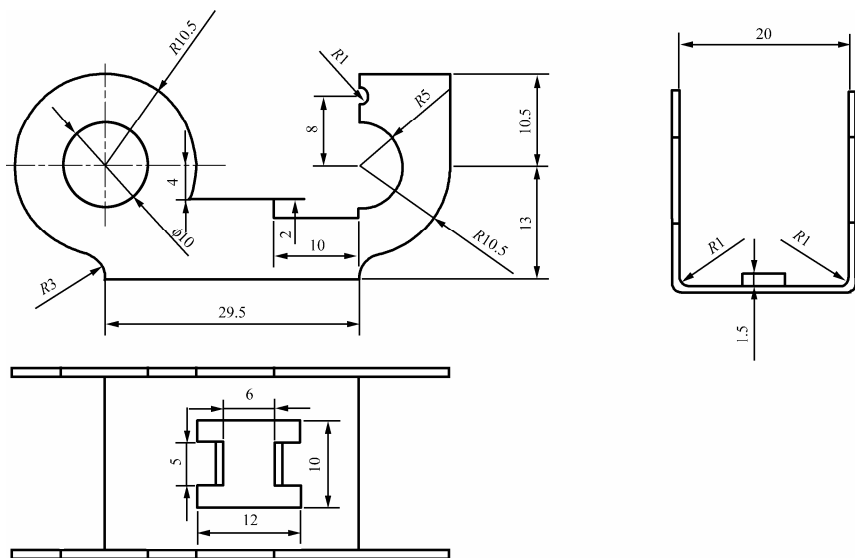


图 7-85 托架件零件图

1. 托架件级进模排样方案设计

托架件为简化级进模具结构, 保证条料送进稳定性, 降低条料送进高度, 降低级进模具设计与制造难度, 减小级进模具发生故障及返修概率, 采用单排、纵排排列, 如图 7-86 所示, 将载体与连接桥设在中间, 初始两侧用侧刃粗定位, 导正销布置在条料连接桥部位, 保证条料精确送进, 采用渐进逐步缩小载体宽度的冲裁方法, 保证条料送进刚性。而若采用单排、横排排列, 则条料抬起送进高度过高, 不能保证条料送进稳定性, 故不可取。

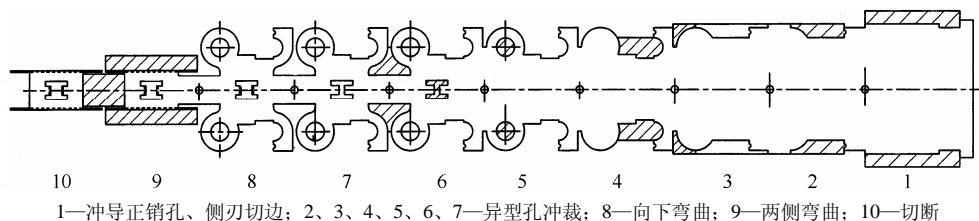
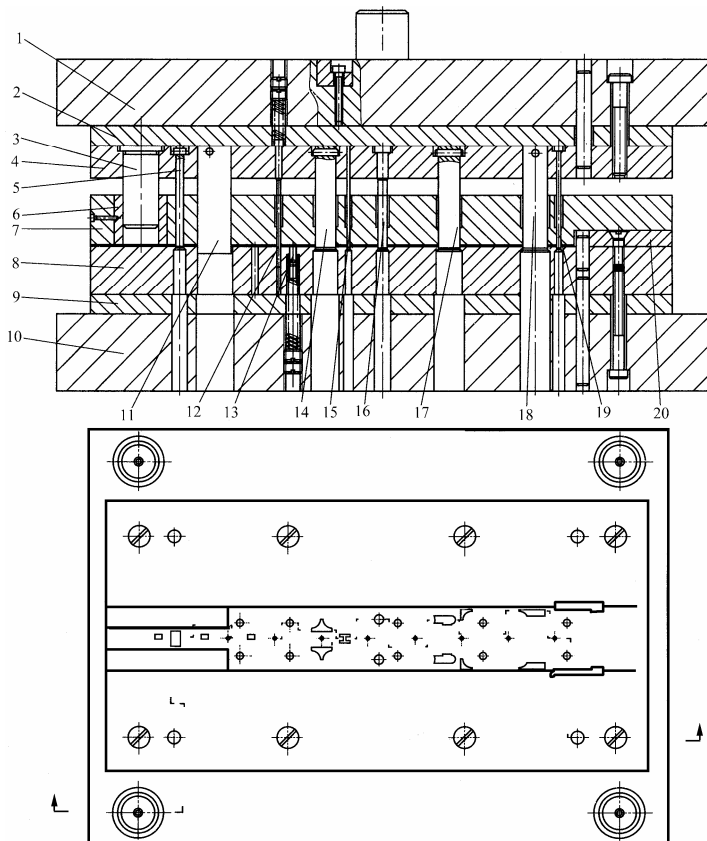


图 7-86 托架件纵排排样图

2. 托架件级进模总体结构设计

托架件级进模装配图采用二视图绘制, 如图 7-87 所示。模具工作过程: 采用双侧刃粗定距, 当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时, 第一步, 条料被侧刃凸模和冲孔凸模冲出导正销孔、零件外型孔, 导正销起精定距作用; 第二、三、四、五、六、七步, 冲裁凸模进入凹模, 依次冲出零件内、外异型孔; 第八、九步, 弯曲凸模进入弯曲凹模, 依次向下两方向弯出制件; 最后一步, 由切断凸模最终分割出成品零件。

级进模在压弯后续工序中, 在相应位置开有躲避孔, 以便于条料顺利送进。U 形弯曲采用向下弯出的方法, 既可降低抬料高度, 又可防止条料送进时被卡住。为防止因合模不当或载荷偏心损坏凸模, 应设置限位柱。弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式, 以保证修配方便。



1、10—模座；2、9—垫板；3—小导柱；4—固定板；5、14、15、16、17、18、19—冲裁凸模；6—导套；7—卸料板；
8—凹模板；11—弯曲凸模；12—导正销；13—浮顶器；20—导料板

图 7-87 托架件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的常用方法为补偿法和镦压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度，使工件出模后正好符合规定的角度。镦压法是镦压工件弯曲带，改变其应力、应变状态，达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上，U 形弯曲利用镦压法可达到控制弯曲回弹的目的。锐角弯曲应先进行补偿再镦压，效果更好。

该托架件级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后，实践证明：该模具结构灵活、可靠，并能保证产品质量，成本低，对此类零件的级进模设计有重要参考价值。

7.6.11 安装座件多工位级进模设计

该安装座件外形较复杂，尺寸的多次搭接冲裁在级进模中较难设计，材料为 08F 钢，厚度为 1.0 mm，生产批量为 100 万次，如图 7-88 所示。成形工艺包括冲裁、U 形弯曲等工序。在设计上，着重解决安装座件多次搭接冲裁位置精度、制件的两凸包及两凸耳同心度问题。上述问题均可通过提高导正销的设计及制造精度，进而提高其定位精度的方法来解决。经计算，制件的最小切边长度及最小凸包半径均满足成形要求，材料在垂直于纤维方向和平行于纤维方向最小弯曲半径也均满足要求。弯曲成形需经过 90° 直角弯曲，最后弯曲需经过试模

调整。弯曲件展开尺寸采用极值法，以使展开尺寸计算结果精确可靠。

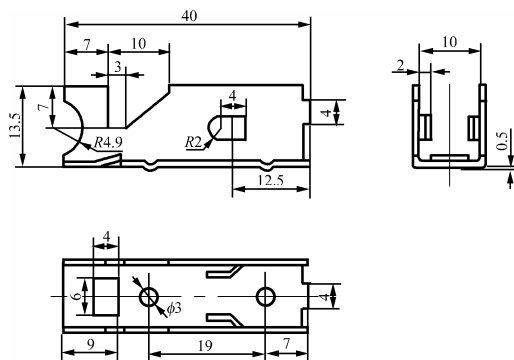


图 7-88 安装座件零件图

1. 安装座件级进模排样方案设计

安装座件为简化级进模具结构，降低制造成本，保证条料送进刚性和稳定性，减小级进模具工作面积，宜采用单排、横排双侧载体排样。因其相对其他方案工步较少，凸模位置分布较合理，材料利用率较高，缩小了步距，冲裁外形较规则，连接桥位于无弯曲的条料基准面上，增加了条料送进刚性和稳定性。因采用双侧载体排样，使制件在冲裁、弯曲过程中受力均匀对称。模具制造相对简单，整个排样设计结构相对简单、合理，出件顺畅。

如采用单排、纵排中间载体排列，材料利用率较低，增大了步距，不利于材料稳定送进。制件由于弯曲，连接桥太窄，易产生挠度，无法保证条料送进的刚性和稳定性，凸模易损坏，出件不顺畅，故采用纵排方案不合理。具体排样方案如图 7-89 所示。

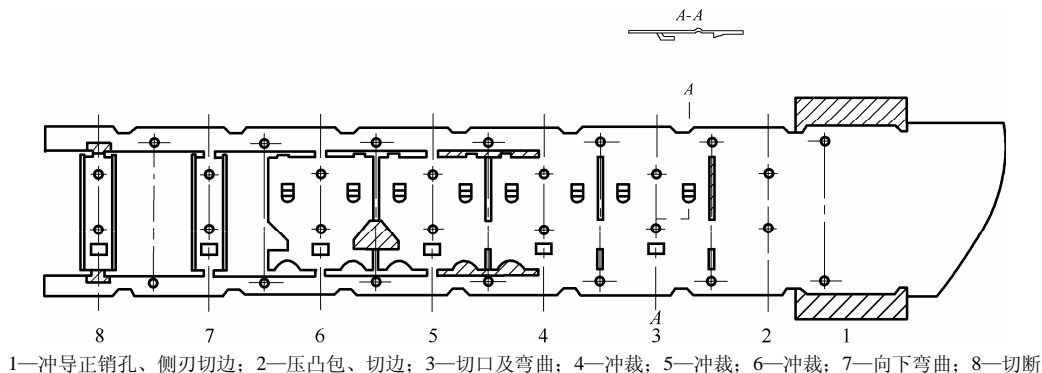
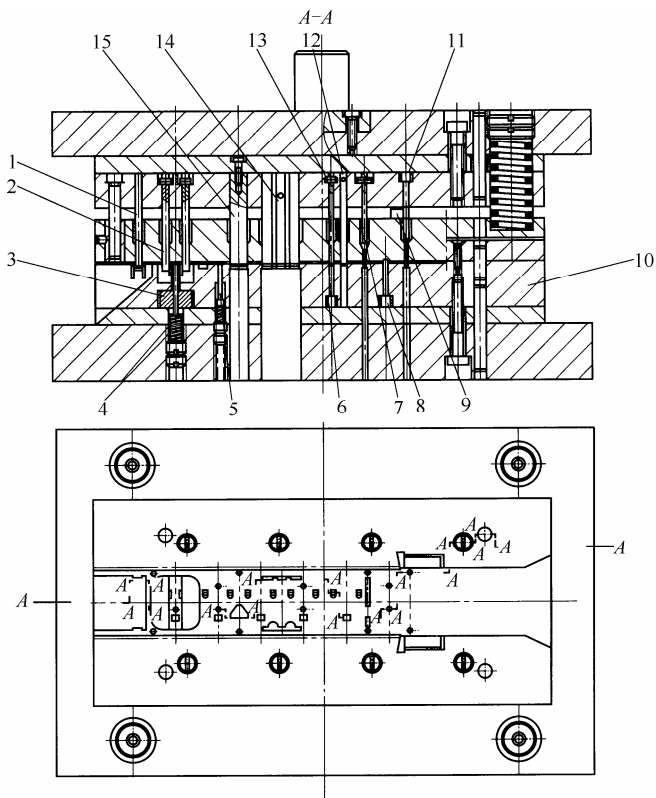


图 7-89 安装座件单排、横排双侧载体排样图

2. 安装座件级进模总体结构设计

安装座件级进模装配图采用二视图绘制，如图 7-90 所示。

模具工作过程：采用双侧刃粗定距，当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，条料被侧刃凸模和冲孔凸模冲出导正销孔、零件外型孔，导正销起精定距作用；第二步，切边凸模切边，压包凸模压出凸包；第三步，切口凸模切口，弯曲凸模进入弯曲凹模完成首次弯曲。第四、五、六步，冲裁凸模依次冲成型孔；第七步，弯曲凸模进入弯曲凹模向下弯曲零件侧壁；最后一步，由切断凸模最终分割出成品零件。级进模采用弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式，以保证修配方便。



1、7、11、13、14、15—凸模；2—弯曲凸模；3—弯曲镶块；4—顶杆；5—浮顶器；6—压杆；8—凸包凸模；
9—限位柱；10—凹模板；12—切口凸模

图 7-90 安装座件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度，使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带，改变其应力、应变状态，达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上，90° 直角弯曲利用锻压法可达到控制弯曲回弹的目的。弯曲结束后，上模继续下行，将冲压力通过限位柱传递到卸料板上，从而使卸料板上的弯曲凸模对板料施加一定的校正压力，达到锻压控制弯曲回弹的目的。

7.6.12 摇臂件多工位级进模设计

该摇臂件外形尺寸的多次搭接冲裁在级进模中较难设计，材料为 08F 钢，厚度为 1.0 mm，生产批量为 100 万次，如图 7-91 所示。成形工艺包括冲裁、U 形弯曲等工序。在设计上，着重解决摇臂件多次搭接冲裁及弯曲成形的问题，弯曲前，需先冲出 $\phi 1.2$ 孔及长圆形孔， $\phi 1.2$ 孔在弯曲的侧面上，不能作为制件的导正孔，因弯曲后，无法再导正，必须另外增加导正孔。经计算，材料在垂直于纤维方向和平行于纤维方向最小弯曲半径均满足要求。弯曲成形需经过 90° 直角弯曲，最后弯曲需经过试模调整。模具结构特点是用普通螺钉加套筒替代卸料螺钉，以保证卸料板的平行度，便于更换及精确控制行程，修模时只需修磨衬套即可。弯曲件展开尺寸采用极值法，以使展开尺寸计算结果精确可靠。

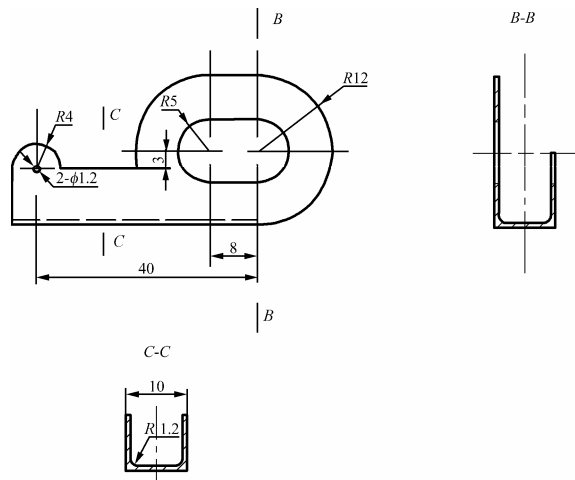


图 7-91 摇臂件零件图

1. 摇臂件级进模排样方案设计

摇臂件为简化级进模具结构,降低制造成本,保证条料送进刚性和稳定性,减小级进模具工作面积,初选两个排样方案。方案一采用单排、横排单侧载体排列,共有六步,如图 7-92 所示,材料利用率为 57.2%。因制件在一侧弯曲,故采用单侧载体;制件在条料上横排,缩小了步距,冲裁外形较规则,模具制造相对简单,整个排列设计结构相对简单、合理,出件顺畅。

方案二采用单排、纵排中间载体排列,材料利用率为 55.3%,与方案一相比较低,如图 7-93 所示。增大了步距,不利于材料稳定送进。制件由于弯曲,连接桥太窄,易产生挠度,无法保证条料送进刚性和稳定性,凸模易损坏,出件不顺畅。故采用纵排方案不合理,最后采用第一种方案。

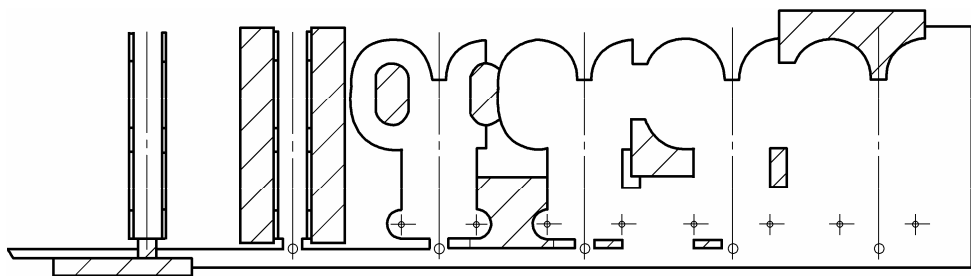
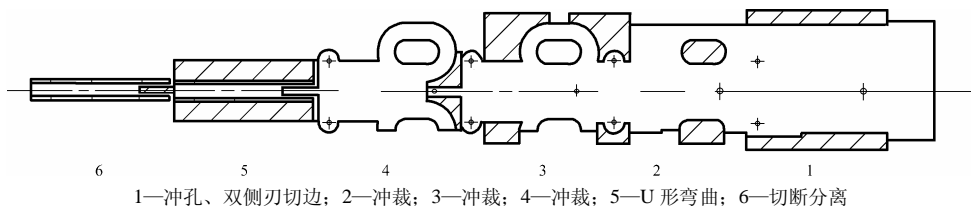


图 7-92 摇臂件单排、横排单侧载体排样图

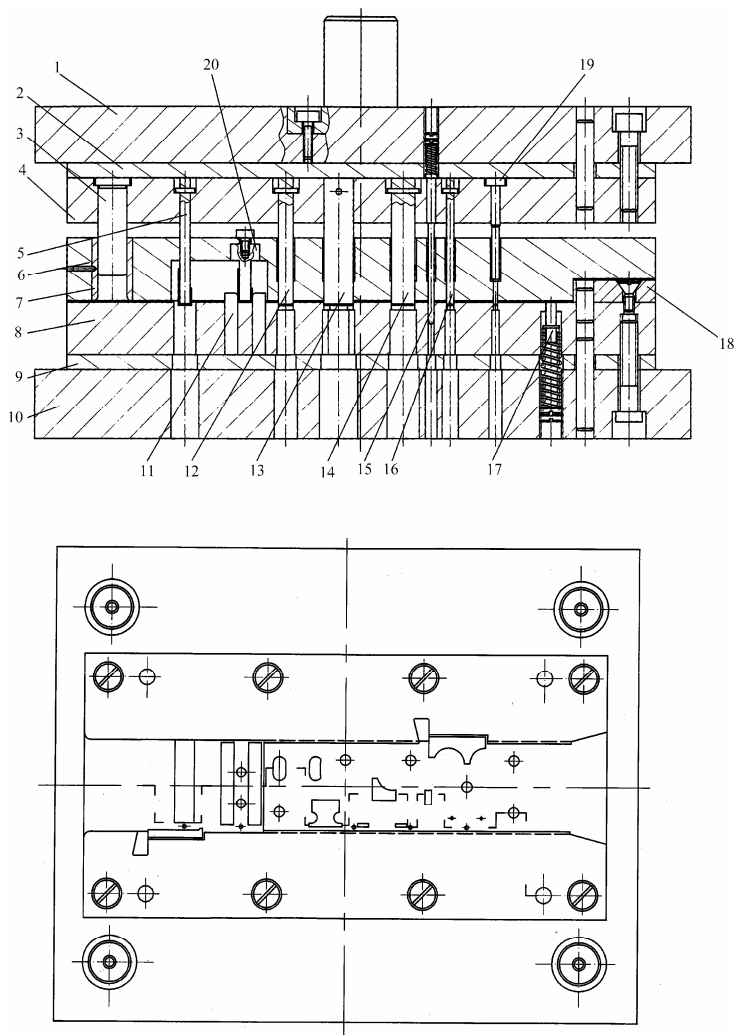


1—冲孔、双侧刃切边; 2—冲裁; 3—冲裁; 4—冲裁; 5—U 形弯曲; 6—切断分离

图 7-93 摇臂件单排、纵排中间载体排样图

2. 摇臂件级进模总体结构设计

摇臂件级进模装配图采用二视图绘制, 如图 7-94 所示。



1—上模座; 2、9—垫板; 3—小导柱; 4—固定板; 5、12、13、14、16、19—凸模; 6—卸料板; 7—导套;
8—凹模板; 10—下模座; 11—弯曲镶块; 15—导正销; 17—浮顶器; 18—导料板; 20—弯曲凸模

图 7-94 摇臂件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度, 使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带, 改变其应力、应变状态, 以达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上, 90° 直角弯曲利用锻压法可达到控制弯曲回弹的目的。弯曲结束后, 上模继续下行, 将冲压力通过限位柱传递到卸料板上, 从而使卸料板上的弯曲凸模对板料施加一定的校正压力, 达到锻压控制弯曲回弹的目的。

7.6.13 弹力支座件多工位级进模设计

弹力支座件材料为 20#钢, 厚度为 1.5 mm, 生产批量为 100 万次, 如图 7-95 所示。为防止外形尺寸的尖角处在弯曲时由于应力集中而撕裂, 经与用户协商, 可将弯曲线移动一段距离以离开弯曲变形区, 但不能影响使用。对于距离弯曲变形区最近的孔, 经计算, 该孔处于弯曲变形区之外, 因此, 制件先冲孔后弯曲也能满足精度要求。成形工艺包括冲裁、弯曲等工序。经计算, 材料在垂直于纤维方向弯曲半径均大于 20#钢最小弯曲半径, 满足成形要求, 但裁料时, 要注意考虑纤维方向。应尽量采取弯曲方向与材料毛刺方向一致的弯曲方式, 减小毛刺对制件弯曲质量的影响。弯曲件展开尺寸采用极值法, 以使展开尺寸计算结果精确可靠。模具的另一个特点是卸料螺钉和卸料弹簧独立设置, 便于安装和维护。

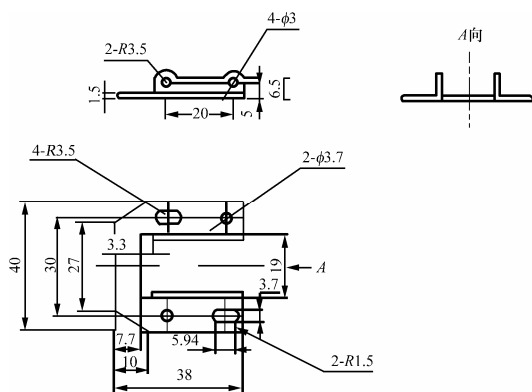


图 7-95 弹力支座件零件图

1. 弹力支座件级进模排样方案设计

弹力支座件排样为简化级进模具结构, 降低制造成本, 初选两个排样方案。

方案一采用单排、横排排样, 如图 7-96 所示。该方案排样步距相对较大, 刚性和稳定性好, 各凸模间隔合理。但制件弯曲高度较大, 为 6.5 mm, 弯曲制件需抬升高度大于 6.5 mm, 才能保证条料送进。后续工序浮顶器放置较困难。

方案二采用单排、纵排排样, 如图 7-97 所示。刚性和稳定性相对较好, 因弯曲方向平行于条料送进方向, 可在条料两侧放置浮顶器, 不影响条料送进。在送进方向上, 可以沿凹模开制件躲避槽, 使制件略微抬升一定高度, 防止冲裁毛刺划伤制件, 保证了条料的更稳定送进。制件对称的左右分布也消除了冲裁、弯曲过程中受力不平衡产生的侧向滑动。综合研究以上两个排样方案, 方案二更合理, 故最终选定方案二。

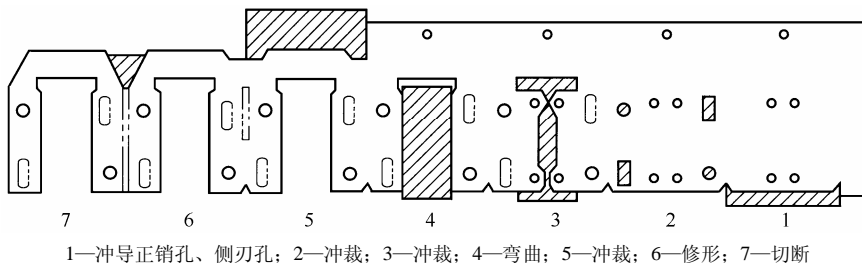


图 7-96 弹力支座件单排、横排排样图

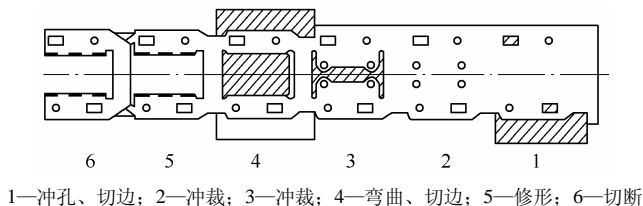
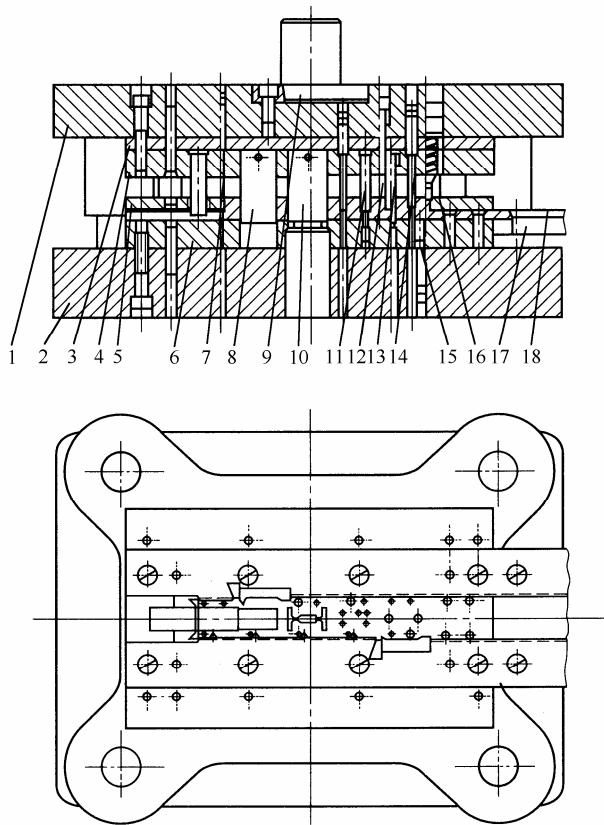


图 7-97 弹力支座件单排、纵排排样图

2. 弹力支座件级进模总体结构设计

弹力支座件级进模装配图采用二视图绘制,如图 7-98 所示。



1、2—模座；3—垫板；4—固定板；5—卸料板；6—凹模板；7、10、13、14—冲裁凸模；8—弯曲凸模；9—模柄；
11—导正销；12—卸料螺钉；15—浮顶器；16—卸料弹簧；17—承料板；18—导料板

图 7-98 弹力支座件级进模装配图

3. 废料排除与制件获取

该模具中,废料是通过漏料孔排出的,制件经切断沿凹模斜面滑下,制件重心要落在斜面上。斜面倾斜角度和粗糙度要保证制件能顺利滑下。在高速冲压中,可能出现废料粘在凸模平面上或在凹模中堵塞的现象,影响模具正常工作,该模具采用凸模带顶锥来防止废料的上升。

7.6.14 护板件多工位级进模设计

该护板件异型冲裁外形及三方向弯曲工艺较复杂,材料为 08F 钢,厚度为 0.8 mm,各未注公差尺寸均为 IT14 级,生产批量为 30 万次,如图 7-99 所示。成形工艺包括冲裁和弯曲等工序,此外,制件表面不得有划痕,截断面不得有毛刺。为保证制件尺寸精度,简化级进模具结构,保证条料送进刚性,异型冲裁分多次成形。经计算,材料在垂直于纤维方向弯曲半径均大于 08F 钢最小弯曲半径,满足成形要求,但裁料时,要注意考虑纤维方向。应尽量采取弯曲方向与材料毛刺方向一致的弯曲方式,减小毛刺对制件弯曲质量的影响。

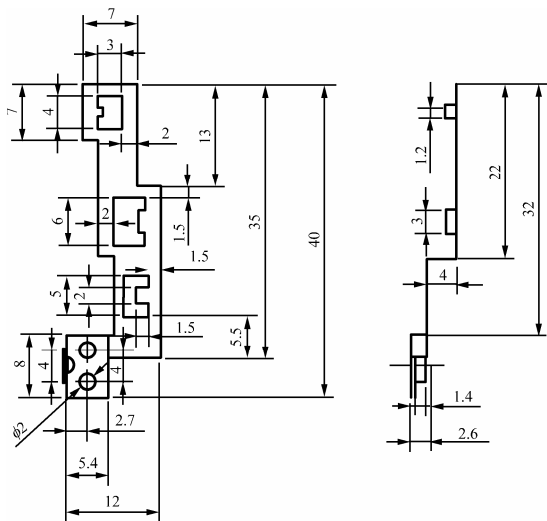


图 7-99 护板件零件图

1. 护板件级进模排样方案设计

护板件为简化级进模具结构,保证条料送进刚性和稳定性,减小级进模具工作面积,减小级进模具发生故障及返修概率,采用单排、横排排列,如图 7-100 所示,将载体与连接桥设在一侧,异型冲裁凸模相当于侧刃,用来粗定位,导正销布置在条料中间及一侧连接桥部位,以保证条料精确送进。而若采用单排、纵排排列,则条料后序三方向弯曲工艺排样设计较复杂,不能保证条料送进刚性和稳定性,故不可取。

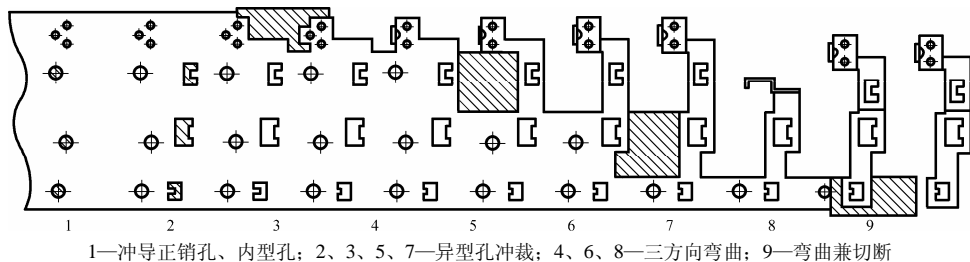


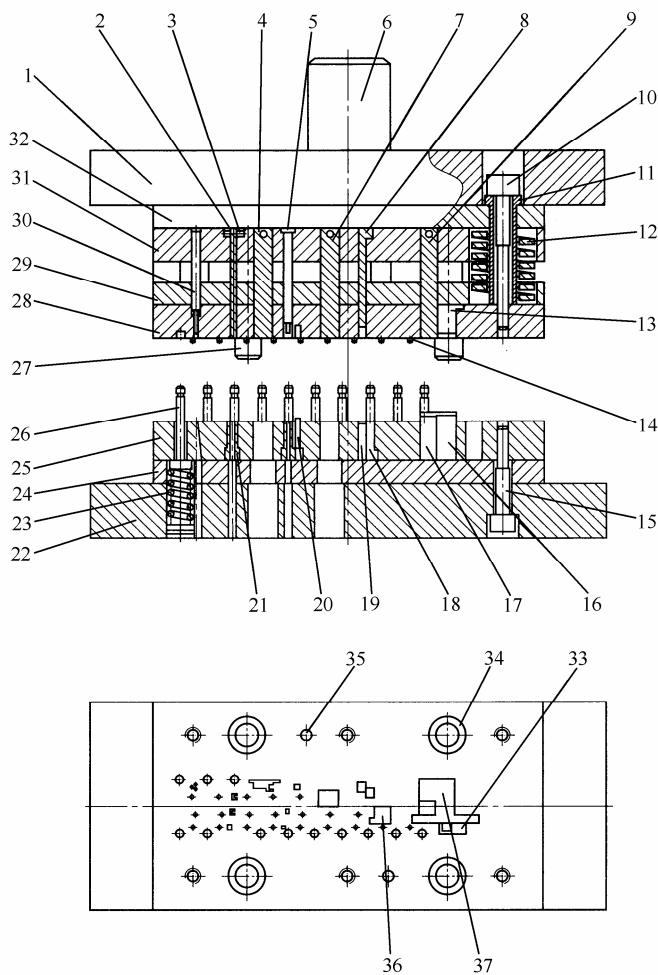
图 7-100 护板件横排排样图

2. 护板件级进模总体结构设计

护板件级进模装配图采用二视图绘制,如图 7-101 所示。模具工作过程:采用自动送料机构送料,当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时,第一步,条料被冲孔凸模冲出导正销

孔、零件内型孔，导正销起精定距作用；第二、三、五、七步，冲裁凸模进入凹模依次冲出零件外、内型孔；第四、六、八步，弯曲凸模进入弯曲凹模，依次向上、侧向及横向弯出制件；最后一步，由切断凸模和弯曲凸模最终分割并弯曲出成品零件。

级进模在压弯后续工序中，在相应位置开有躲避孔，以便于条料顺利送进。为防止因合模不当或载荷偏心损坏凸模，应设置限位柱。弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式，以保证修配方便。



1、22—模座；2、4、7、30、33、36—冲裁凸模；3、35—销钉；5、8—弯曲凸模；6—模柄；9、13、16、18、20—成形凸模；10—卸料螺钉；11—护套；12—矩形弹簧；14—导正钉；15—螺钉；17、37—成形顶块；19、21—凹模镶块；23—弹簧；24、29、32—垫板；25—凹模板；26—浮顶器；27—导柱；28—卸料板；31—固定板；34—导套

图 7-101 护板件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一一定斜度，使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带，改变其应力、应变状态，达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上，U 形弯曲利用锻压法可达到控制弯曲回弹的目的。锐角弯曲应进行先补偿再锻压，效果更好。

该护板件级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后,实践证明:该模具结构灵活、可靠,并能保证产品质量,成本低,对此类零件的级进模设计有重要参考价值。

7.6.15 角撑件多工位级进模设计

该角撑件弯曲外形较复杂,材料为 08F 钢,厚度为 1.0 mm,生产批量为 50 万次,如图 7-102 所示。成形工艺包括冲裁、弯曲等工序,此外,制件表面不得有划痕,截断面不得有毛刺,未注尺寸公差为 IT12。Z 形一次弯曲成形较困难,经可行性分析,需在级进模上经三次弯曲成形,且每步弯曲回弹必须严格控制。经计算,材料在垂直于纤维方向弯曲半径均大于 08F 钢最小弯曲半径,满足成形要求,但裁料时,要注意考虑纤维方向。应尽量采取弯曲方向与材料毛刺方向一致的弯曲方式,减小毛刺对制件弯曲质量的影响。

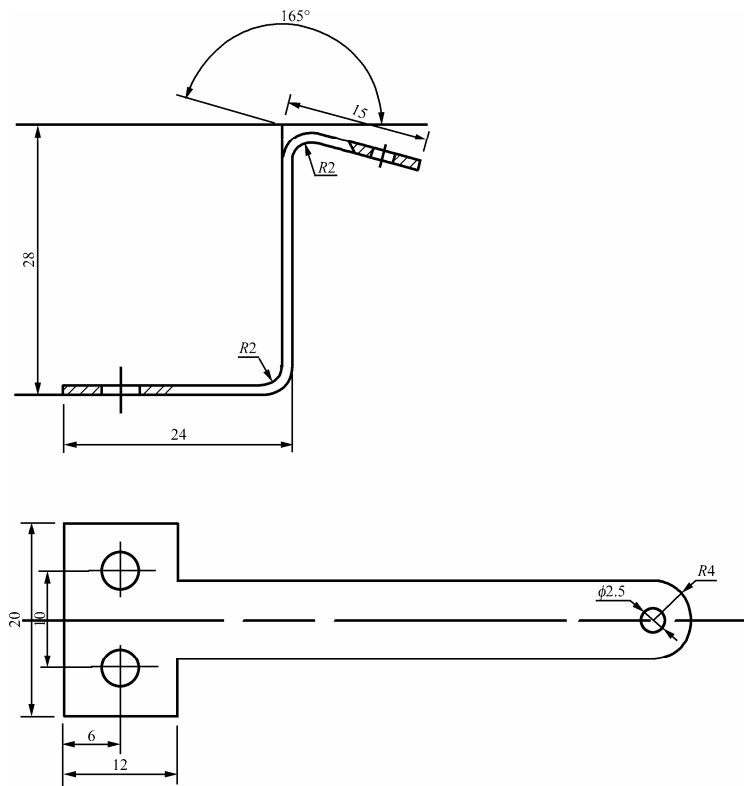


图 7-102 角撑件零件图

1. 角撑件级进模排样方案设计

角撑件为简化级进模具结构,降低制造成本,保证条料送进刚性和稳定性,减小级进模具工作面积,减小级进模具发生故障及返修概率,采用单排、横排排列。Z 形弯曲需经 90° 预弯曲、60° 和 75° 二次弯曲和 90° 成形弯曲完成。导正销布置在条料单侧连接桥部位,以保证条料精确送进。当制件弯侧边时,在第四工位设置切刀切除部分连接桥,使条料变为单侧载体。采用前三步双桥、双侧载体,后续工步单桥、单侧载体排样的方案,如图 7-103 所示。Z 形弯曲带附近的孔可先冲孔、后弯曲成形,虽可能有微变形,但不影响使用,这样安排比先弯曲、后冲孔的方法,降低了设计制造难度与成本。

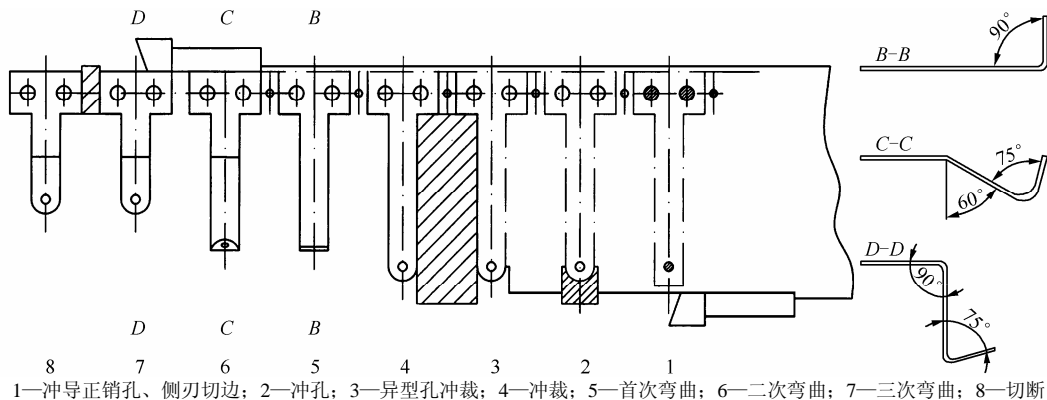


图 7-103 角撑件排样图

2. 角撑件级进模总体结构设计

角撑件级进模装配图采用二视图绘制, 如图 7-104 所示。模具工作过程: 采用双侧刃粗定距, 当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时, 第一步, 条料被侧刃凸模和冲孔凸模冲出导正销孔、零件内型孔, 导正销起精定距作用; 第二步, 冲裁凸模冲出零件侧壁孔; 第三步、第四步, 冲裁凸模冲出矩形孔; 第五、六、七步, 弯曲凸模进入弯曲凹模, 依次弯出零件侧壁, 同时, 另一侧刃凸模切出零件另一侧局部外形; 最后一步, 由切断凸模最终分割出成品零件。级进模采用弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式, 以保证修配方便。

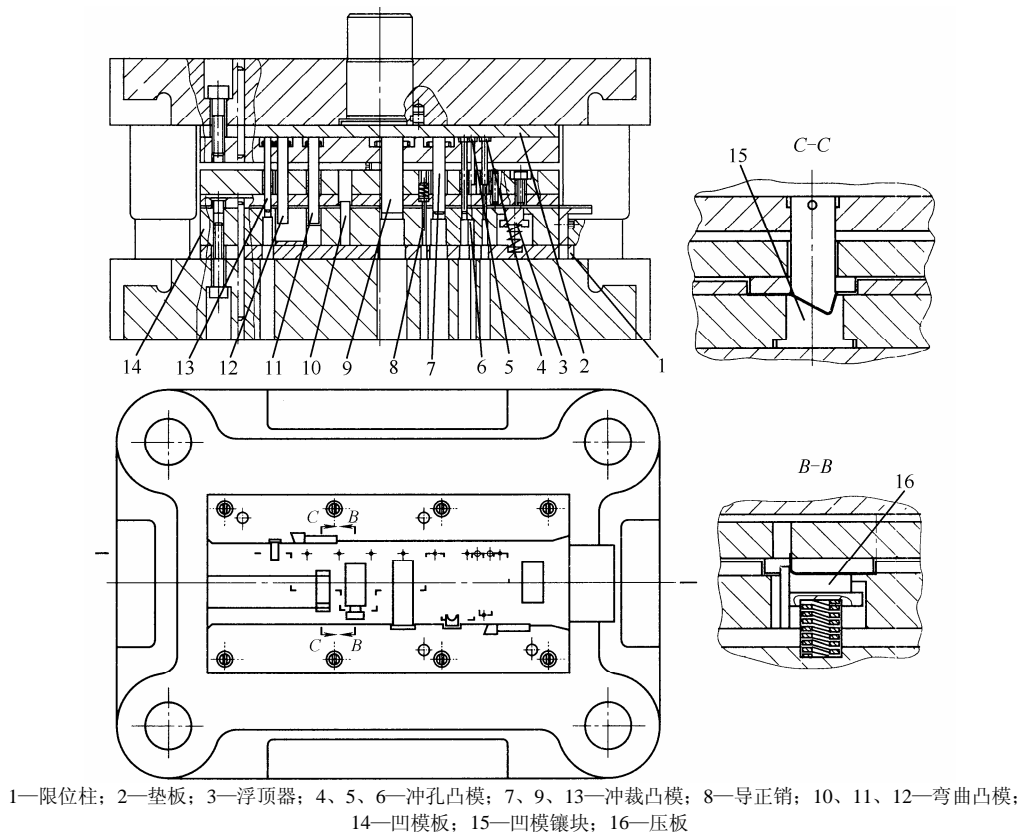


图 7-104 角撑件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度,使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带,改变其应力、应变状态,达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上,90° 直角弯曲利用锻压法可达到控制弯曲回弹的目的。60° 和 75° 弯曲应进行先补偿再锻压,效果更好。经计算补偿角为 0.67° 和 0.81°, 弯曲角为 60.67° 和 75.81°。

7.6.16 铰链垫片件多工位级进模设计

该铰链垫片件外形尺寸的回弹在级进模中较难控制,材料为 10F 钢,厚度为 0.5 mm,生产批量为 100 万次,如图 7-105 所示。成形工艺包括冲裁、弯曲等工序。在设计上,着重解决铰链垫片弯曲成形的问题,经计算,材料在垂直于纤维方向和平行于纤维方向最小弯曲半径均满足要求。弯曲成形需经过 60° 弯曲、90° 直角弯曲,最后弯曲需经过试模调整。模具结构特点是用普通螺钉加套筒替代卸料螺钉,成本低,便于更换及精确控制行程,修模时只需修磨衬套即可。弯曲件展开尺寸采用极值法,以使展开尺寸计算结果精确可靠。

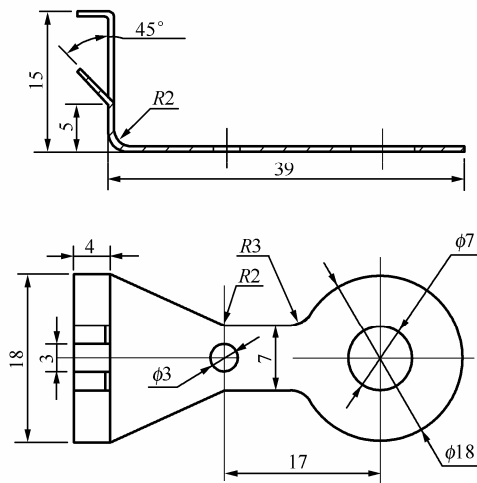


图 7-105 铰链垫片件零件图

1. 铰链垫片件级进模排样方案设计

铰链垫片件为简化级进模具结构,降低制造成本,保证条料送进刚性和稳定性,减小级进模具工作面积,减小级进模具发生故障及返修概率,初选两个排样方案。方案一采用单排、横排横连单侧载体排列,共有八步,如图 7-106 所示,材料利用率为 48.4%。因制件在一侧弯曲,故采用单侧载体;制件在条料上横排,缩小了步距,减小了模具工作面积,因冲裁凸模设计分布较分散,也不会出现因步距缩小而产生干涉的现象。

方案二采用单排、纵排横连双侧载体排列,材料利用率为 31.7%,与方案一相比较低,如图 7-107 所示。增大了步距,不利于材料稳定送进。制件二次向下弯曲,若将材料抬起送进,弯曲高度较高,设计较困难;若在凹模送进方向上开设躲避槽,可以使材料直接送进,但最后工步没有用于制件分离的基准面,故采用纵排方案不合理。最后采用第一种方案。

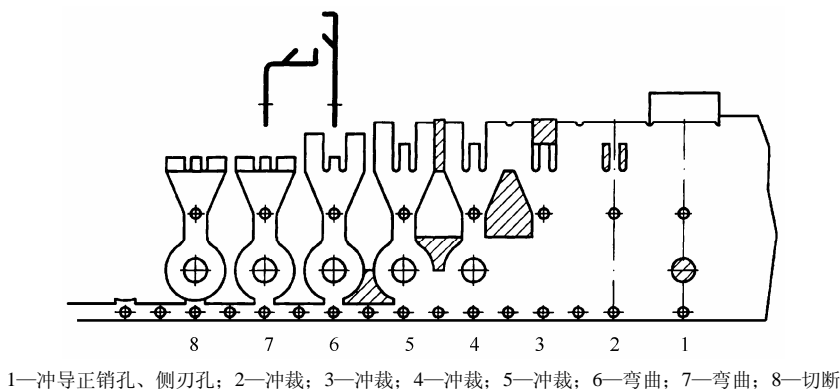


图 7-106 铰链垫片件单排、横排横连单侧载体排样图

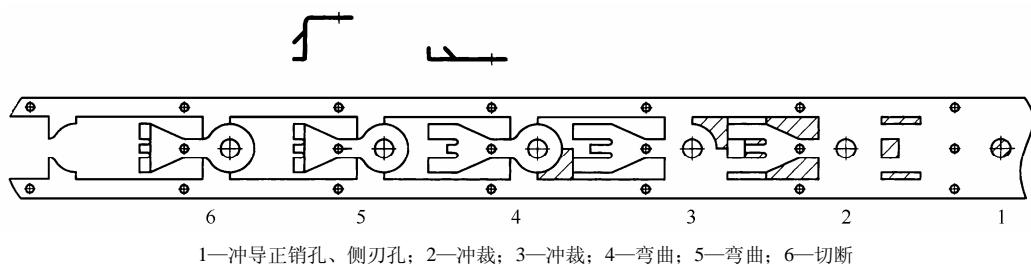


图 7-107 铰链垫片件单排、纵排横连双侧载体排样图

2. 铰链垫片件级进模总体结构设计

铰链垫片件级进模装配图采用二视图绘制，如图 7-108 所示。模具工作过程：采用单侧刃粗定距，当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，条料被侧刃凸模和冲孔凸模冲出导正销孔、零件外型孔，导正销起精定距作用；第二、三、四、五步，冲裁凸模进入凹模依次冲出内、外型孔；第六步、第七步，弯曲凸模进入弯曲凹模依次弯曲零件侧壁；最后一步，由切断凸模最终分割出成品零件。级进模采用弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。

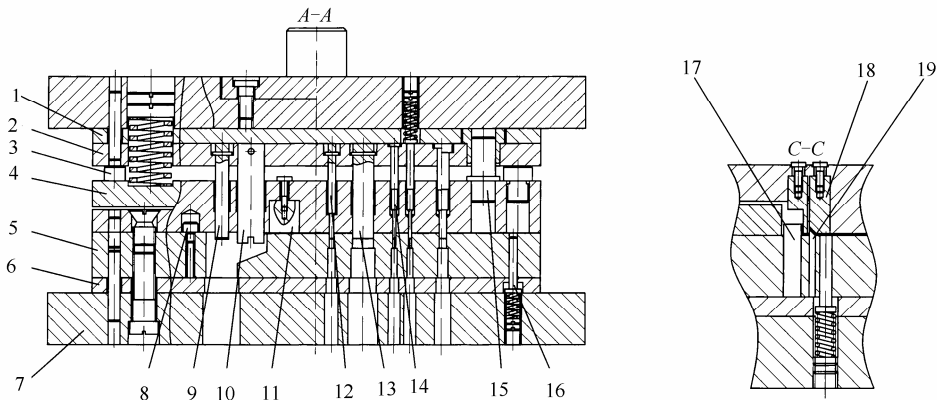
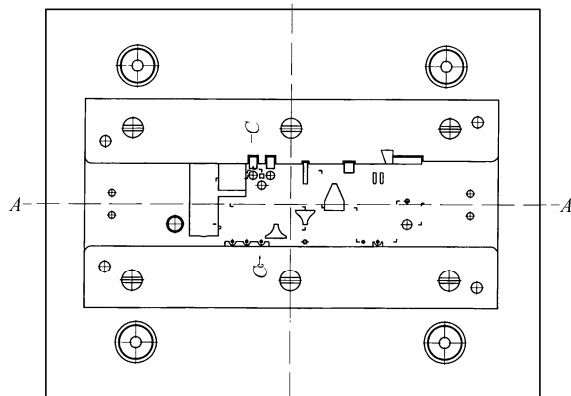


图 7-108 铰链垫片件级进模装配图



1、6—垫板；2—固定板；3—限位柱；4—卸料板；5—凹模板；7—下模座；8—挡料销；9、10、11—弯曲凸模；
12、13、14—冲裁凸模；15—小导柱；16—浮顶器；17、19—弯曲镶块；18—弯曲凸模

图 7-108 铰链垫片件级进模装配图（续）

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度，使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带，改变其应力、应变状态，达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上， 90° 直角弯曲利用锻压法可达到控制弯曲回弹的目的。 60° 弯曲应进行先补偿再锻压，效果更好。经计算补偿角为 0.69° ，弯曲角为 60.69° 。

7.6.17 滚珠卡板件多工位级进模设计

该滚珠卡板件曲线外形较复杂，材料为 08F 钢，厚度为 1.0 mm，生产批量为 100 万次，如图 7-109 所示。成形工艺包括冲裁和两次 U 形弯曲等工序。在设计上，着重解决滚珠卡板件多次冲裁成形工艺合理分步安排问题，因在冲裁中异型孔较多，且外形较复杂，窄颈处易出现冲裁掉角损坏现象，因而不宜采取整体冲出，可采取分段冲制法，真正体现级进模的化复杂为简单的设计理念，以保证模具寿命，缺点是在曲线搭接处易出现冲裁毛刺。经计算，制件的孔距满足成形要求。在垂直于纤维方向和平行于纤维方向最小弯曲半径也均满足成形要求。为防止弯曲时材料窜动及保证冲裁定位尺寸精度，采用矩形弹簧和滚动导向模架。最后弯曲需经过试模调整。弯曲件展开尺寸采用极值法，以使展开尺寸计算结果精确可靠。最后工步落料和弯曲复合，既减少工步，又保证定位尺寸精度。

1. 滚珠卡板件级进模排样方案设计

滚珠卡板件为简化级进模具结构，降低制造成本，保证条料送进刚性和稳定性，减小级进模具工作面积，宜采用单排、横排中间载体排样，切边和侧刃都起粗定距作用。因其相对纵排方案设计减小了级进模具工作面积，工步紧凑，凸模位置分布较合理，模具整体受力均衡，缩小了步距，连接桥位于无弯曲的条料基准面上，增加了条料送进刚性和稳定性。因采用中间载体排样，使制件在冲裁、弯曲过程中受力均匀对称。模具制造相对简单，整个排样设计结构相对简单、合理，出件顺畅。

如采用单排、纵排中间载体排列，材料利用率较低，增大了步距，不利于材料稳定送进。制件由于弯曲，连接桥太窄，易产生挠度，无法保证条料送进刚性和稳定性，凸模易损坏，出件不顺畅，故采用纵排方案不合理。具体排样方案如图 7-110 所示。

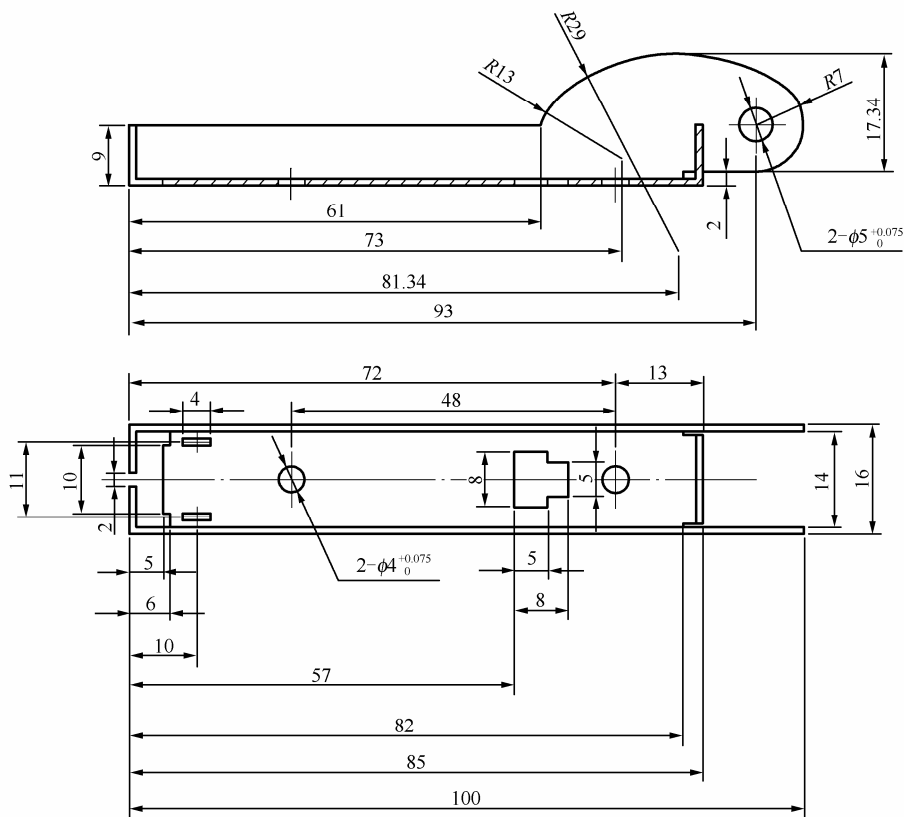
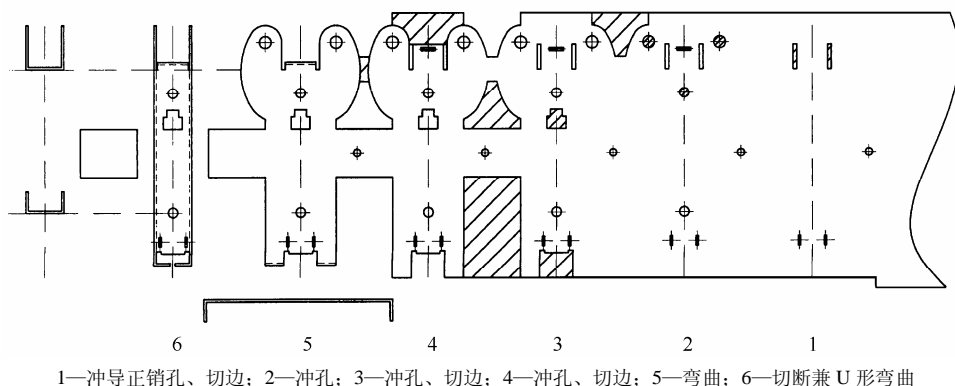


图 7-109 滚珠卡板件零件图



1—冲导正销孔、切边；2—冲孔；3—冲孔、切边；4—冲孔、切边；5—弯曲；6—切断兼 U 形弯曲

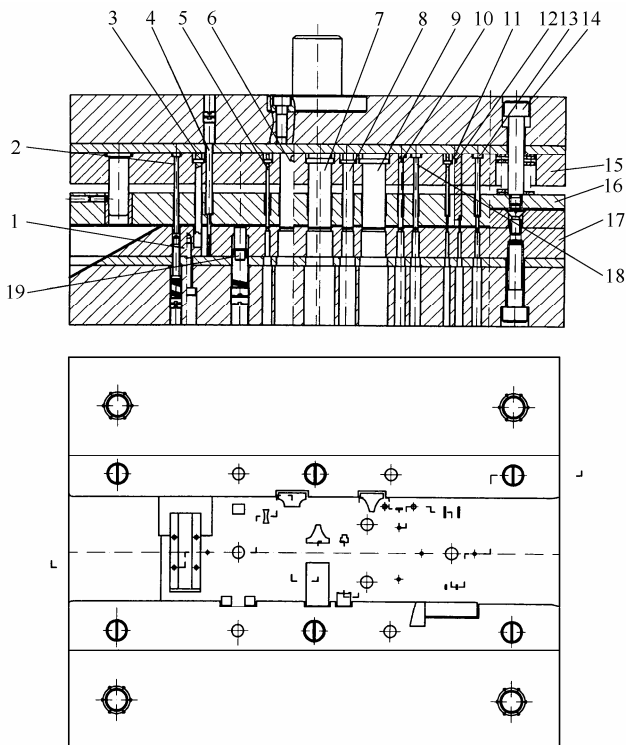
图 7-110 滚珠卡板件单排、横排中间载体排样图

2. 滚珠卡板件级进模总体结构设计

滚珠卡板件级进模装配图采用二视图绘制,如图 7-111 所示。模具工作过程:采用单侧刃粗定距,当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时,第一步,条料被侧刃凸模和冲孔凸模冲出导正销孔、零件内型孔,导正销起精定距作用;第二步,冲孔凸模进入凹模,冲出零件内型孔;第三步、第四步,切边凸模和冲孔凸模分别进入凹模,切出零件外型孔和冲出零件内型孔;第五步,弯曲凸模进入弯曲凹模,向下弯出制件;最后一步,由切断凸模和弯曲凸

模分别进入凹模，分割零件并最后弯出成品件。

级进模在压弯后续工序中，在相应位置开有躲避孔，以便于条料顺利送进。为防止因合模不当或载荷偏心损坏凸模，应设置限位柱。弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式，以保证修配方便。



1—弯曲镶块；2—顶杆；3—弯曲凸模；4—导正销；5、6、7、8、9、10、11、12、13、18—冲裁凸模；
14—卸料螺钉；15—固定板；16—卸料板；17—凹模板；19—浮顶器

图 7-111 滚珠卡板件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和锻压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度，使工件出模后正好符合规定的角度。锻压法是锻压工件弯曲带，改变其应力、应变状态，达到控制弯曲回弹的目的。在该工件上，U 形弯曲利用锻压法可达到控制弯曲回弹的目的。弯曲结束后，上模继续下行，将冲压力通过限位柱传递到卸料板上，从而使卸料板上的弯曲凸模对板料施加一定的校正压力，达到锻压控制弯曲回弹的目的。

该滚珠卡板件级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后，实践证明：该模具结构灵活、可靠，并能保证产品质量，成本低。

7.6.18 右内筒支撑板件多工位级进模设计

该右内筒支撑板件外形较复杂，材料为 08F 钢，厚度为 1.6 mm，生产批量为 30 万次，如图 7-112 所示。成形工艺包括冲裁、弯曲和压筋等工序。在设计上，着重解决右内筒支撑板件直角、斜角弯曲以及多次冲裁成形工艺合理分步安排问题，因在冲裁中异型孔较多，且外形较复杂，锐角处易出现冲裁掉角损坏现象，因而不宜采取整体冲出，可采取分段冲制法，

以保证模具寿命, 缺点是在曲线搭接处易出现冲裁毛刺。经计算, 制件的直边弯曲高度大于最小弯曲高度。在垂直于纤维方向和平行于纤维方向最小弯曲半径也均满足成形要求。另外, 由于条料在整个成形中不能翻转, 因而弯曲成形只能由远端弯起, 最后弯近端。为防止弯曲时材料窜动及保证冲裁定位尺寸精度, 采用矩形弹簧和滚动导向模架。最后弯曲需经过试模调整。

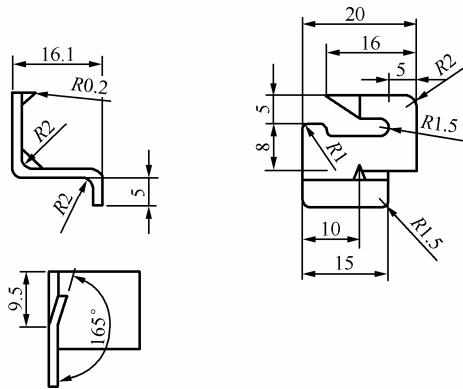


图 7-112 右内筒支撑板件零件图

1. 右内筒支撑板件级进模排样方案设计

右内筒支撑板件为简化级进模具结构, 降低制造成本, 保证条料送进刚性和稳定性, 减小级进模具工作面积, 合理地布置弯曲步骤, 很好地解决制件压筋及出件问题, 宜采用单排、横排单侧载体排样, 切边和侧刃起粗定距作用。因其相对纵排单侧载体排样方案设计减小了级进模具工作面积, 工步紧凑, 凸模位置分布较合理, 模具整体受力均衡, 缩小了步距, 连接桥位于无弯曲的条料基准面上, 增加了条料送进刚性和稳定性。

如采用单排、纵排单侧载体排列, 材料利用率虽提高, 但模具解决压筋问题需复杂结构, 故采用纵排方案不合理。具体排样方案如图 7-113 所示。

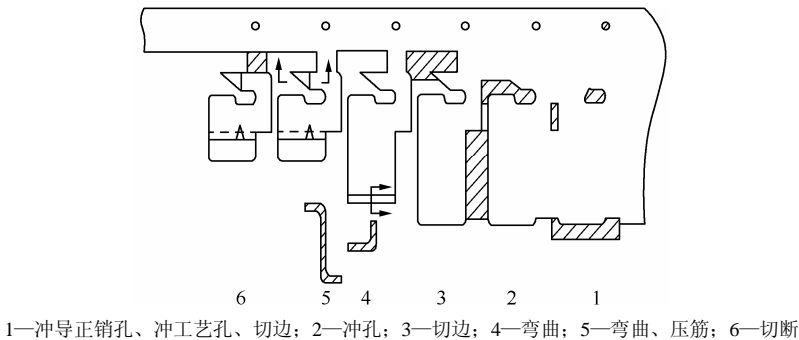
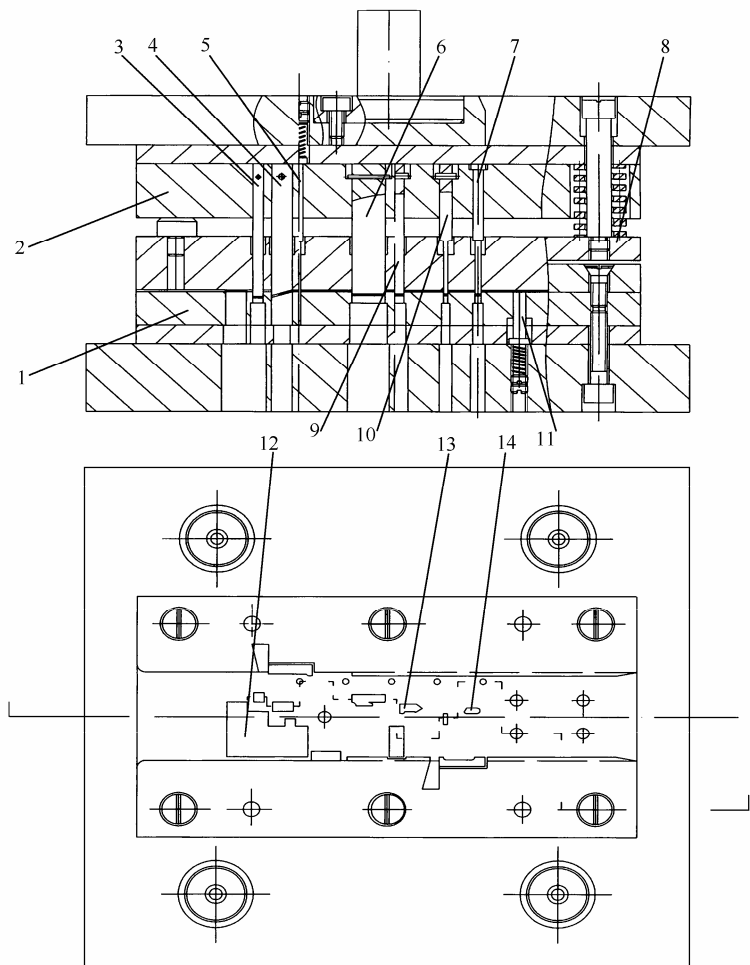


图 7-113 右内筒支撑板件单排、横排单侧载体排样图

2. 右内筒支撑板件级进模总体结构设计

右内筒支撑板件级进模装配图采用二视图绘制, 如图 7-114 所示。



1—凹模板；2—固定板；3、7、9、10—冲裁凸模；4—弯曲镶块；5—导正销；6—弯曲镶块；
8—卸料板；11—浮顶器；12、13、14—冲裁凹模

图 7-114 右内筒支撑板件级进模装配图

3. 弯曲回弹的控制

控制弯曲回弹的方法常用补偿法和镦压法。补偿法是在模具相应位置开出一定斜度，使工件出模后正好符合规定的角度。镦压法是镦压工件弯曲带，改变其应力、应变状态，达到控制弯曲回弹的目的。在该工件直角、斜角弯曲凸模上，分别增加 0.6° 和 0.9° 弯曲角度，利用补偿法达到控制弯曲回弹的目的。当弯曲力去掉后，会得到合格的制件。

7.6.19 双角片片多工位级进模设计

该双角片片拉深工序较复杂，同时要求冲裁边缘无毛刺，可采用较小的冲裁间隙控制，材料为 08 钢，厚度为 1 mm，生产批量为 30 万次，如图 7-115 所示。成形工艺包括冲裁、弯曲和拉深等工序，制件上的圆形成形工序经计算其成形类型介于起伏和拉深之间，考虑成形过程中材料有可能产生局部流动，为确保成形后制件上尺寸不变形，按拉深来处理。对于直角弯曲的回弹控制，可以用减小弯曲凸模工作部分圆角半径，或在弯曲凸模工作部分加压印台阶等方法来实现。

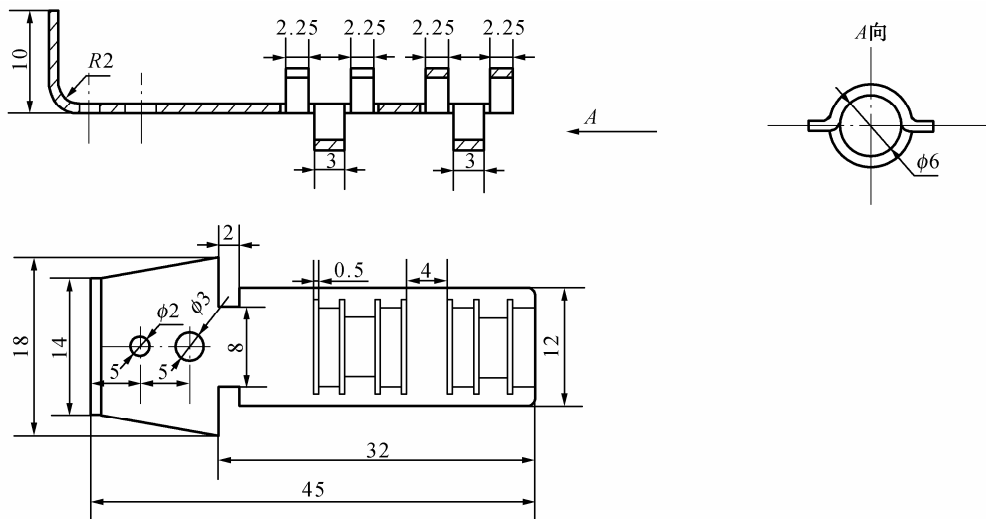
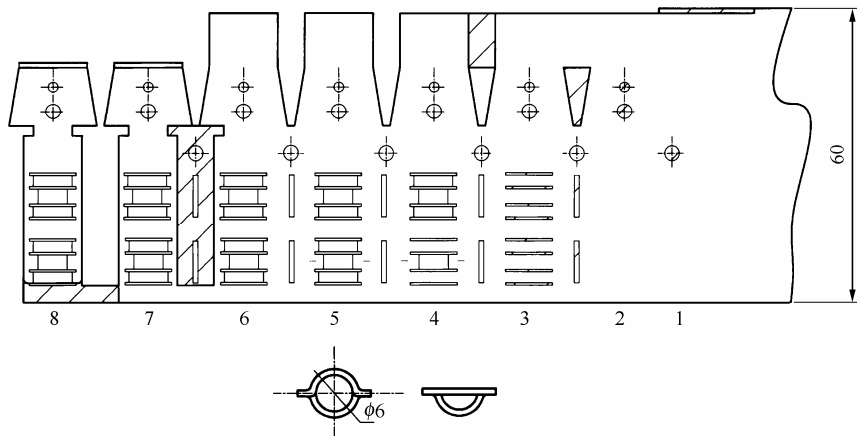


图 7-115 双角片片零件图

1. 双角片片级进模排样方案设计

(1) 排样方案论证

双角片片若采用斜排方式，材料利用率较高，但斜排方式模具工作尺寸计算与制造成本较高，且因弯曲、拉深等工序的方向不同，成形后送料困难。若采用纵排方式，材料利用率也较高，但弯曲成形后制件弯边在送料方向上，平稳送料也困难。若采用横排方式，材料利用率虽然相对斜排和纵排较低，但克服了斜排和纵排的缺点，采用侧刃加导正销形式定位，精度较高。采用单侧载体加连接桥方式连接，稳定性较好。具体排样方案如图 7-116 所示。



1—冲侧刃及导正销孔；2—冲裁梯形孔、圆孔及矩形孔；3—二次冲裁、切边；4—拉深；
5—二次拉深；6—冲切异型孔；7—弯曲；8—切断

图 7-116 双角片片排样图

(2) 具体排样方案拟定注意事项

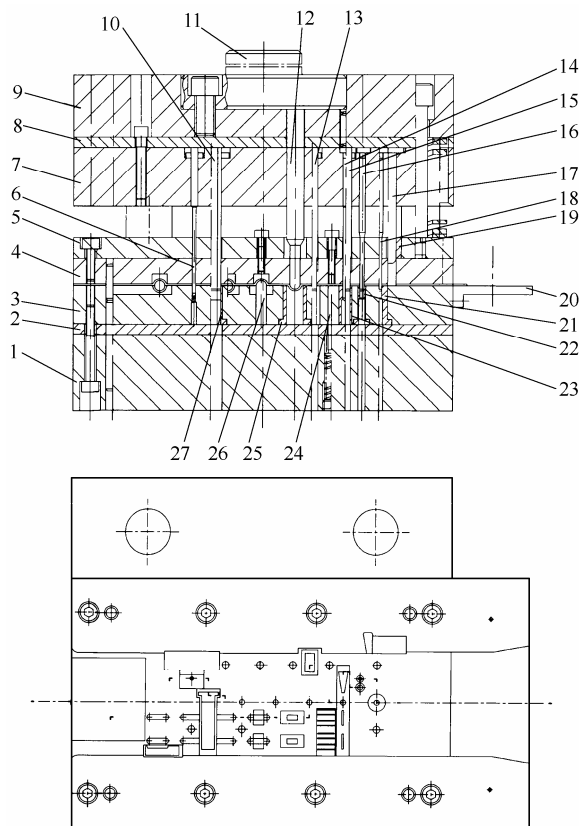
对于采用导料板导向的模具，最好将弯曲放在冲裁之后进行，以保证条料利用载体在导料板内充分导向。有可能出现的毛刺，利用卸料板与凹模板将出现的毛刺挤压一下，可以提高表面质量。该制件的拉深工序有可能引起材料局部流动，故在进行拉深工序前，先将成形

两侧冲出槽孔，以便于材料局部流动。

2. 双角片件级进模总体结构设计

双角片件级进模装配图采用二视图绘制，如图 7-117 所示。模具工作过程：采用单侧刃粗定距，当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，条料被侧刃凸模和冲孔凸模冲出导正销孔、零件外型孔，导正销起精定距作用；第二步，冲裁凸模冲出零件内型孔；第三步，冲裁凸模和切边凸模进入凹模，依次冲切型孔；第四、五步，拉深凸模进入凹模，依次拉深出半圆形；第六步，冲裁凸模冲出零件异型孔；第七步，弯曲凸模进入弯曲凹模，弯出零件侧壁；最后一步，由切断凸模最终分割出成品零件。级进模采用弹性卸料板保证每步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式，以保证修配方便。

其中，凸模与固定板配合为双面过盈 $0.02 \sim 0.04 \text{ mm}$ ，凸模与卸料板配合为双面间隙 $0.06 \sim 0.10 \text{ mm}$ 。导正销与固定板、卸料块与卸料板、浮顶器与凹模的配合为 $H7/h6$ 。小导柱与小导套配合为 $H7/h5$ 。模柄与模架，小导柱与卸料板，圆柱销与凹模、上下模座、固定板、导料板配合均为 $H7/m6$ 。镶块与凹模为过渡配合 $H7/n6$ 。小导套与固定板、凸模护套与卸料板的配合为 $H7/r6$ 。



- 1—下模座；2、8—垫板；3—凹模；4—卸料板；5—卸料垫板；6—导正销；7—固定板；9—上模座；
10、13、14、15、16、18—冲裁凸模；11—模柄；12、26—拉深凸模；17—小导柱；19—小导套；20—承料板；
21、22、23、27—凹模镶块；24—浮顶器；25—拉深凹模镶块

图 7-117 双角片件级进模装配图

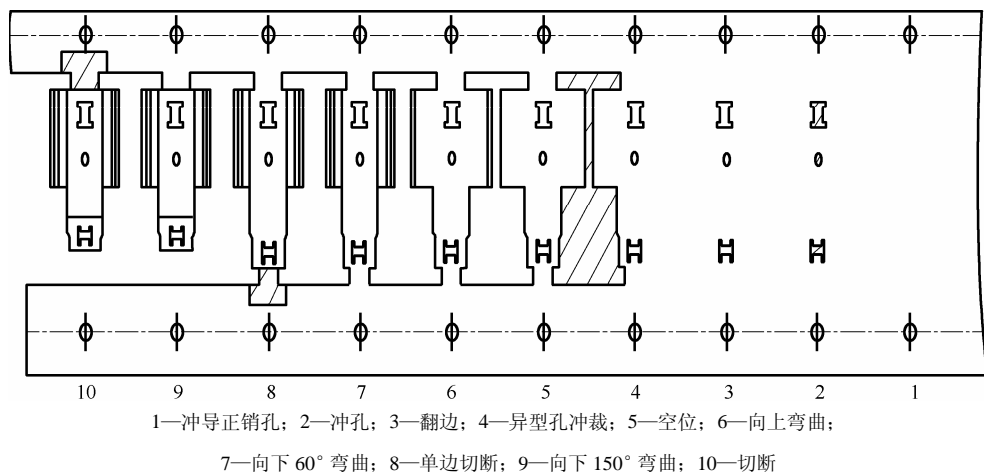


图 7-119 插接板件排样图

(2) 工步设计

此冲件包括冲裁、弯曲、切舌、翻边等工序。为使材料很好定位，首先安排自动送料机构和冲导正销孔，在每步成形工步前，应先冲掉周围妨碍成形的废料。对于翻边后的凹模要及时开躲避槽。由于翻边区距离弯曲带较远，采用先翻边后弯曲的方法，可简化级进模具结构。

2. 插接板件级进模总体结构设计

插接板件级进模装配图采用二视图绘制，如图 7-120 所示。

3. 自动送料机构设计

对于大批量生产，且条料薄而窄的高速送进，宜采用自动送料机构，该级进模采用夹辊式自动送料机构。其原理是利用滚珠或钢球约束斜面上的移动，以产生对材料垂直方向的夹紧和放松，并通过夹座的往复运动实现材料的间歇送料。送料精度为 $+0.02 \sim -0.02 \text{ mm}$ ，送料速度为 $25 \sim 40 \text{ m/min}$ 。

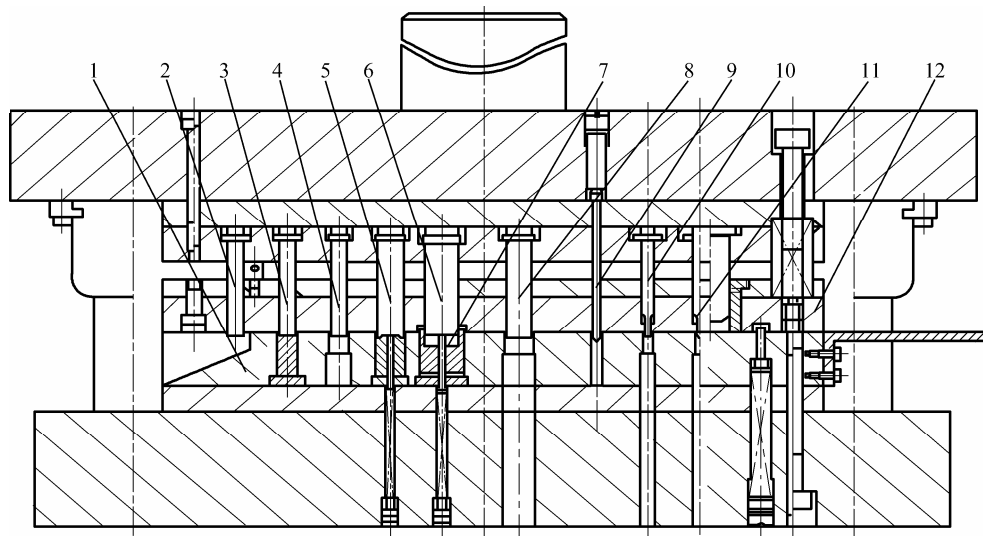
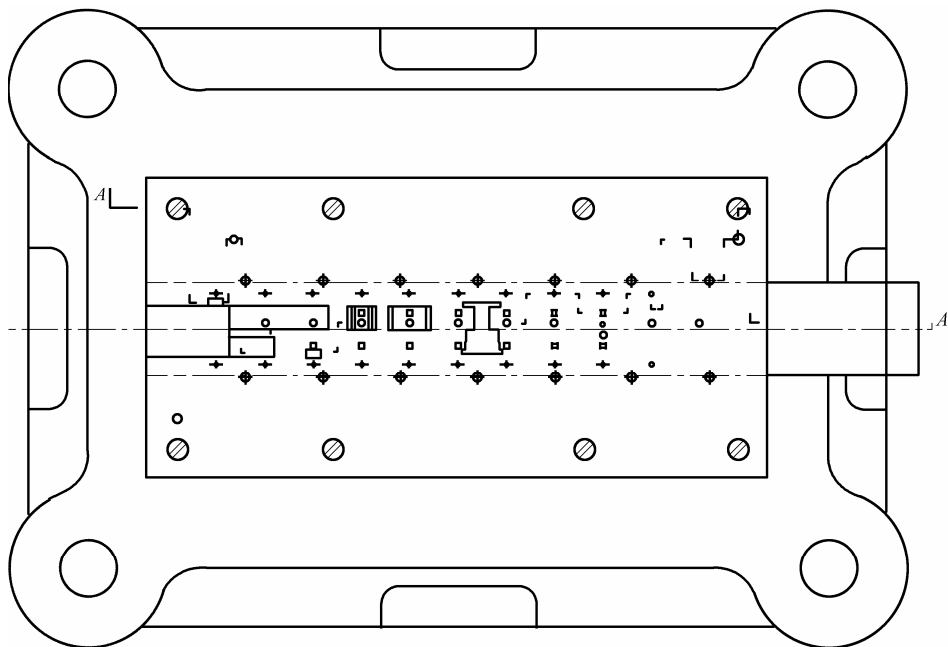


图 7-120 插接板件级进模装配图



1—凹模板；2、4、8、10、11—冲裁凸模；3、5、6—弯曲凸模；7—浮顶器；9—翻边凸模；12—卸料板

图 7-120 插接板件级进模装配图（续）

该插接板件级进模总体设计结构和排样方案经分析论证和实际投产检验后，实践证明：该模具结构灵活、可靠，并能保证产品质量，成本低，对此类零件的级进模设计有重要参考价值。

7.6.21 衣服卡件多工位级进模设计

1. 衣服卡件零件图（如图 7-121 所示）

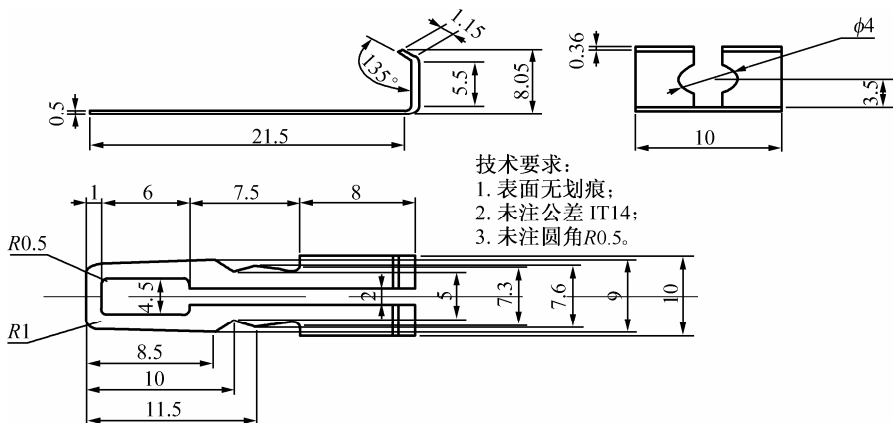


图 7-121 衣服卡件零件图

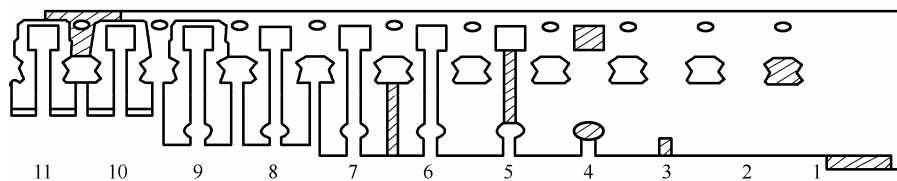
2. 衣服卡件排样设计技巧

衣服卡件排样图如图 7-122 所示，为简化级进模具结构，降低制造成本，保证条料送进的刚性和稳定性，减小级进模具工作面积，减小级进模具发生故障及返修概率，采用单排、横排排列最佳。采用双排排列和斜排排列会使弯曲凸模易发生结构干涉问题，同时人为地增

加了设计和制造成本。

先冲孔再切掉弯曲部位的废料，然后再进行弯曲。切除废料时，注意保证条料的刚性和零件在条料上的稳定性。因为级进模的条料在冲压过程中不能翻转，因此要慎重决定弯曲件的基准平面。弯曲部位要经过几次弯曲时，应从最远端开始，依次向与基准平面连接的根部弯曲，这样才能避免或减少侧弯机构。

首先利用已准备好的零件图在最后一个工步处按已确定的排列方向复制完整的零件图。然后在倒数第二个工步处，利用已准备好的零件图复制出第二个完整的零件图，并用连接桥将零件与条料连接。接着再按照已确定的工步顺序与工作内容从后向前，逐工步地将零件一步一步地展开，绘制在相应的工步位置上。此时，可以利用已准备好的展开图，折叠成所需的形状。然后，参照这个自制样件进行绘图。也可以利用已绘完的相邻工步的工序图，参照绘制。这样做的结果，将使零件的成形部分一步一步地恢复原状；被冲掉的材料，一步一步地补上，最后将清除一切冲压痕迹而得到最初的空白条料。



1—切侧刃；2—切局部外形及冲导正销孔；3—切局部外形；4—切局部外形；5—切局部外形；6—空位；7—切局部外形；8—空位；9—第一次向下弯曲；10—空位；11—第二次向下弯曲及切断

图 7-122 衣服卡件排样图

3. 衣服卡件装配图（如图 7-123 所示）

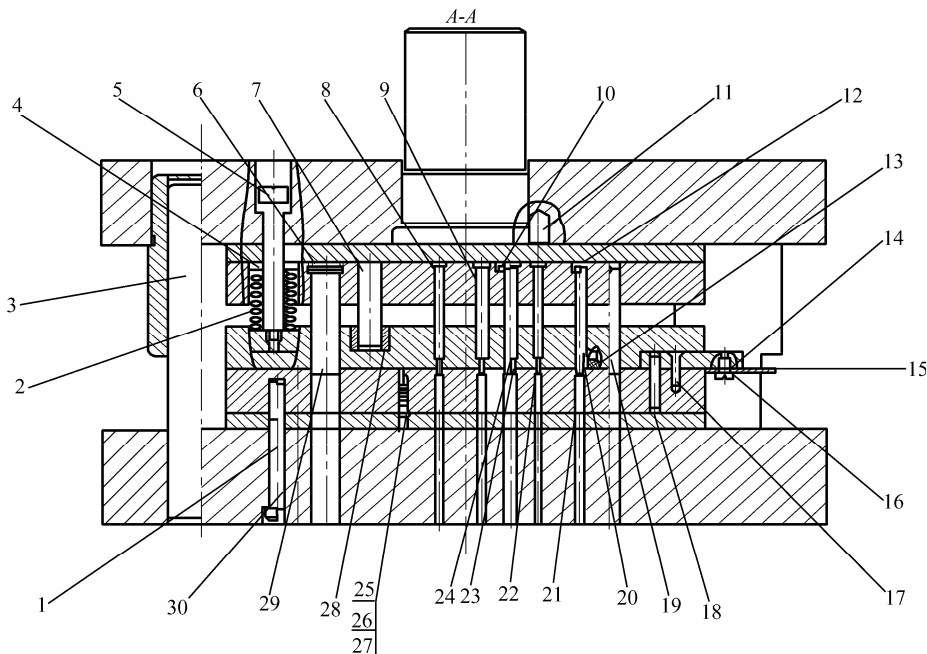
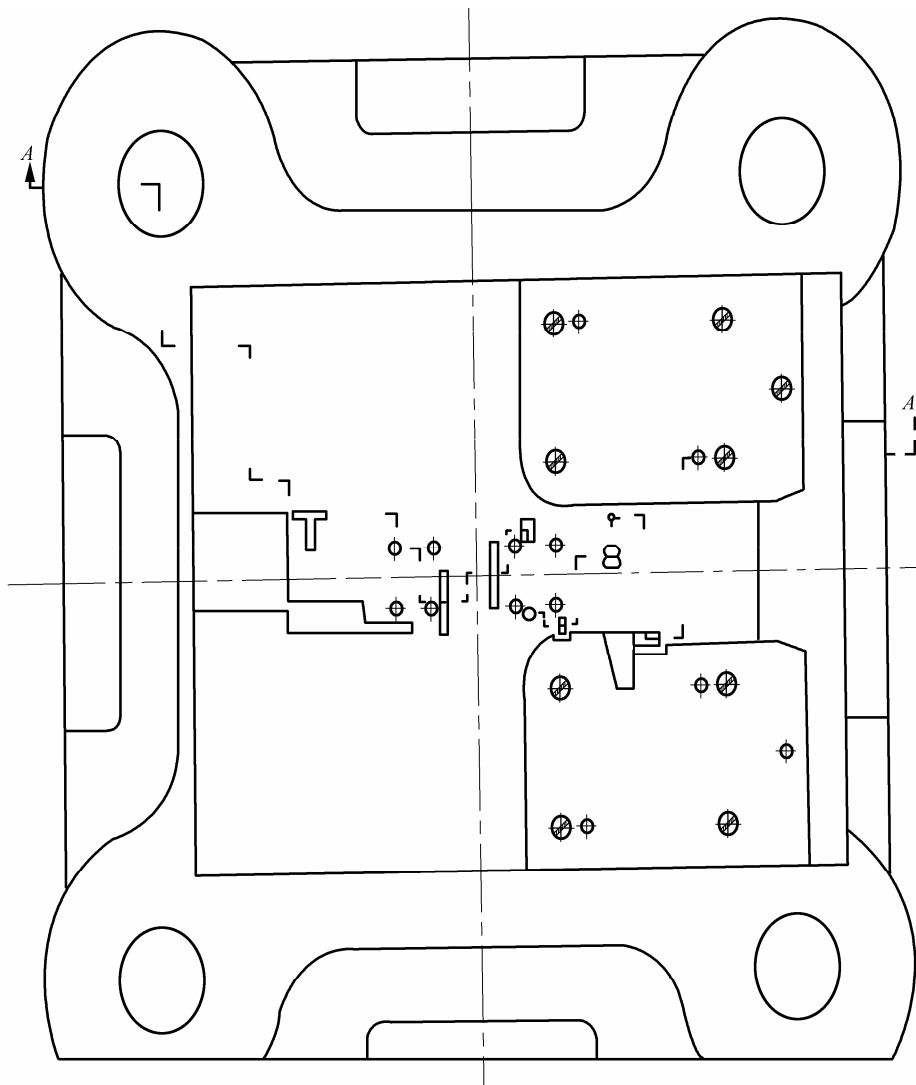


图 7-123 衣服卡件装配图



1、16、17—螺钉；2—矩形弹簧；3—导柱；4—调整块；5—卸料螺钉；6、10、11、12、18、30—销钉；13—挡块；14—导料板；15—承料板；7—弯曲凸模；8、9、19、20、21、22、23、24、29—冲裁凸模；25—丝堵；26—弹簧；27—浮顶器；28—弯曲凹模

图 7-123 衣服卡件装配图（续）

7.6.22 电器内板件多工位级进模设计

1. 电器内板件零件图（如图 7-124 所示）及电器内板件排样图（如图 7-125～图 7-127 所示）。

2. 电器内板件排样设计技巧

材料利用率的计算，以排样图三为例，由冲压手册查轧制薄钢板规格（GB 708—65），由料厚 1 mm 选取材料规格为 1500 mm×800 mm，根据排样图三步距为 15.2 mm，送料宽度为 64 mm，此板下料规格为 64 mm×1500 mm，设计工步为 7 个，则每根条料会有 8 个废品工件。

每根条料能加工出的零件个数 $n = 1500 / 15.2 - 8 = 90.68$ ，取整为 90。

上述规格钢板能下的条料根数 $m = 800 / 64 = 12.5$ ，取整为 12。

材料利用率 $U = nmA / (1500 \times 800) \times 100\% = 41.1\%$, A 为零件展开面积。

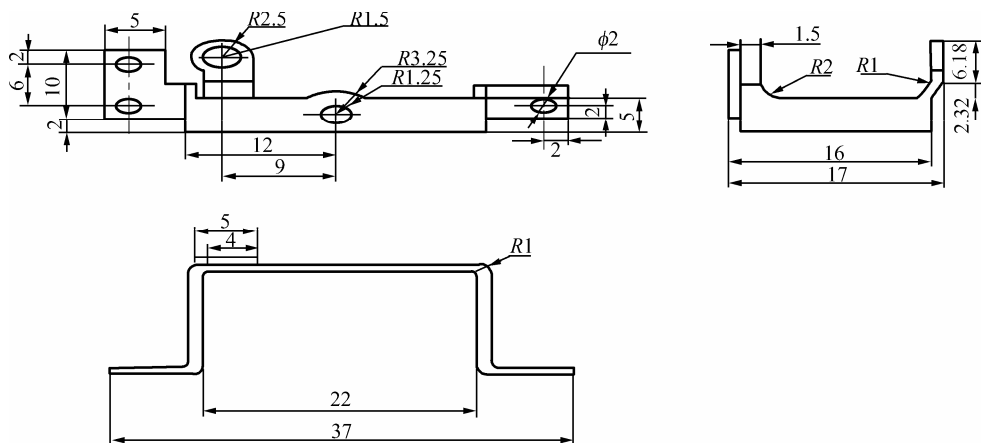


图 7-124 电器内板件零件图

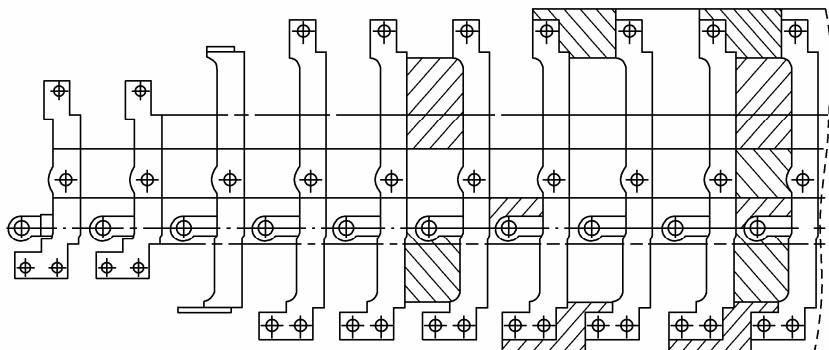


图 7-125 电器内板件排样图一

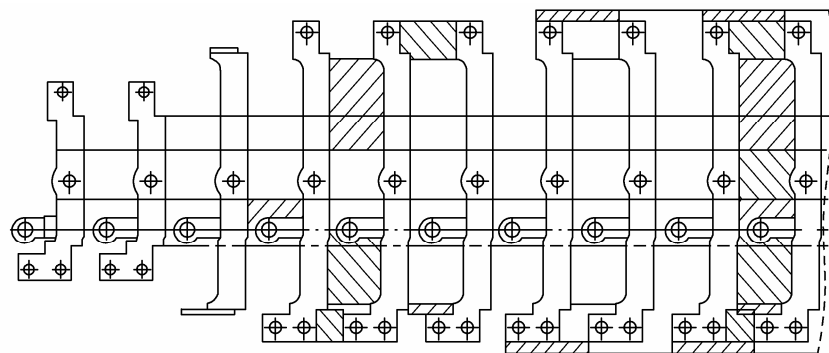


图 7-126 电器内板件排样图二

排样图一共九工步，材料利用率为 39.8%，排样图二共九工步，材料利用率为 35.9%，排样图三共七工步，材料利用率为 41.1%。方案一与方案二工步多，模具结构复杂，材料利用率低。方案三排样为简化级进模具结构，降低制造成本，保证条料送进刚性和稳定性，减小级进模具工作面积，减小级进模具发生故障及返修概率，采用单排、横排排列最佳，侧刃

粗定距，导正销精定距，中间载体，材料利用率高。由右向左工步依次为：1—切侧刃、切局部外形及冲导正销孔；2—切局部外形；3—切局部外形；4—切局部外形；5—第一次向上弯曲及Z形弯曲；6—第二次向下弯曲；7—切断。

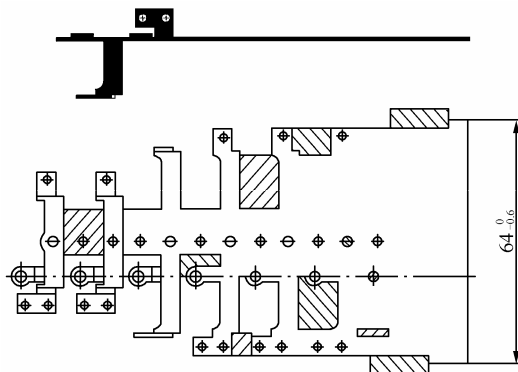


图 7-127 电器内板件排样图三

排样设计与校正过程：首先利用已准备好的电器内板件零件图在最后一个工步处按已确定的排列方向复制完整的零件图。然后在倒数第二个工步处，利用已准备好的零件图复制出第二个完整的零件图，并用连接桥将零件与条料连接。接着再按照已确定的工步顺序与工作内容从后向前，逐工步地将零件一步一步地展开，绘制在相应的工步位置上。此时，可以利用已准备好的展开图，折叠成所需的形状。然后，参照这个自制样件进行绘图。也可以利用已绘完的相邻工步的工序图，参照绘制。这样做的结果，将使零件的成形部分一步一步地恢复原状；被冲掉的材料，一步一步地补上，最后将清除一切冲压痕迹而得到最初的空白条料。

3. 电器内板件装配图（如图 7-128 所示）

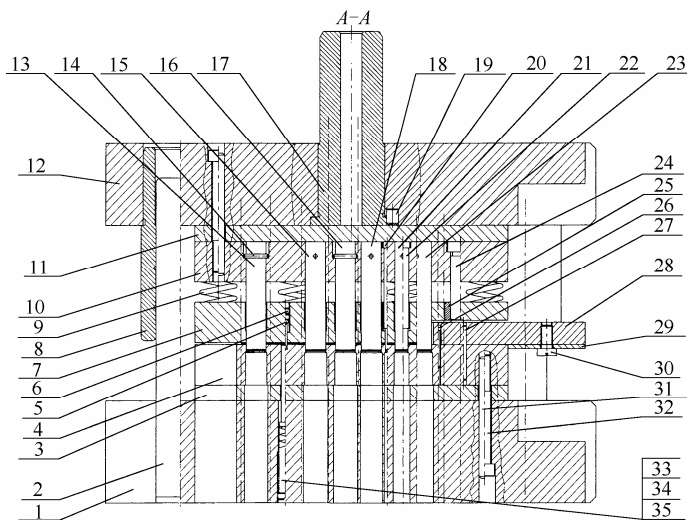
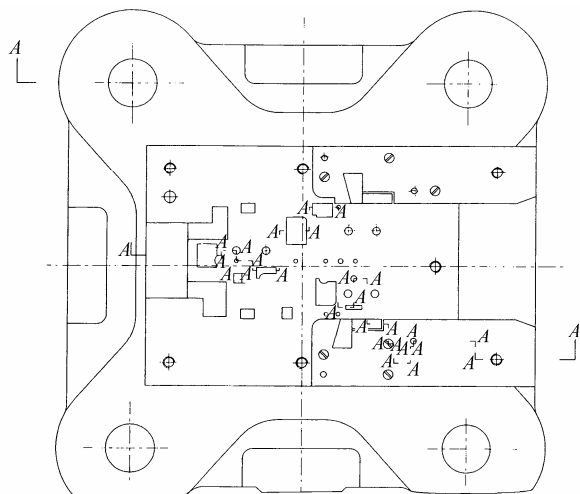


图 7-128 电器内板件装配图

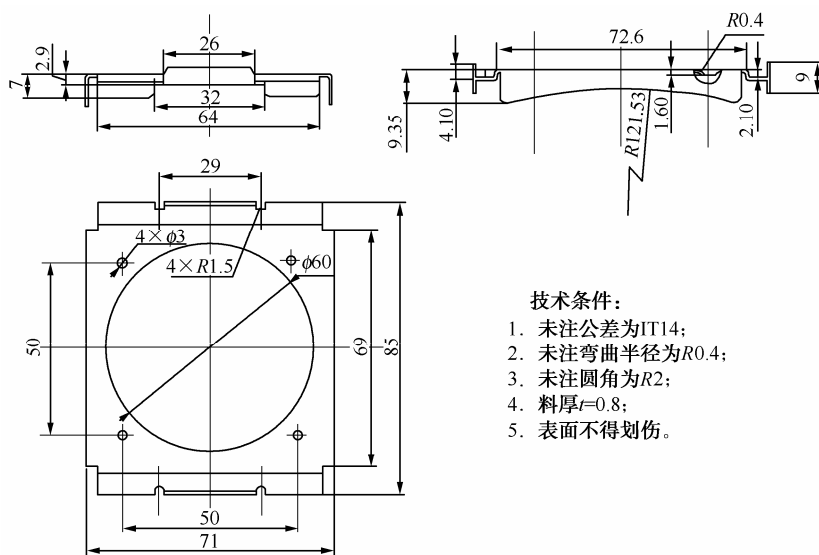


- 1—下模座；2、24—导柱；3—垫板；4—凹模板；5—导正销；6—螺塞；7—卸料板；8、25—导套；9—卸料弹簧；
10—固定板；11—垫板；12—上模座；13、18、20、21、22、23—冲裁凸模；14、19、27、31—销钉；15、16—弯曲凸模；
17—模柄；26、30、32—螺钉；28—导料板；29—承料板；33—丝堵；34—弹簧；35—浮顶器

图 7-128 电器内板件装配图（续）

7.6.23 风扇支架件多工位级进模设计

1. 风扇支架件零件图（如图 7-129 所示）及风扇支架件排样图（如图 7-130～图 7-132 所示）。



技术条件：

1. 未注公差为IT14；
2. 未注弯曲半径为R0.4；
3. 未注圆角为R2；
4. 料厚 $t=0.8$ ；
5. 表面不得划伤。

图 7-129 风扇支架件零件图

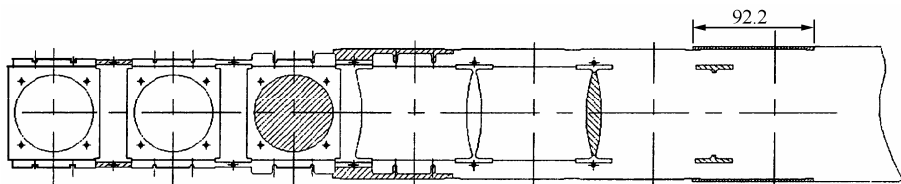


图 7-130 风扇支架件排样图一

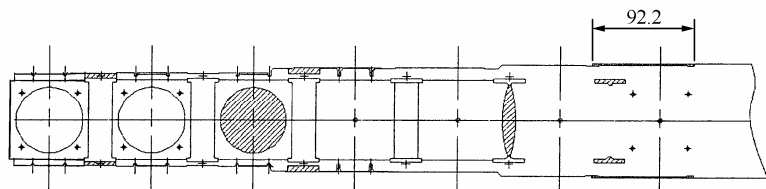


图 7-131 风扇支架件排样图二

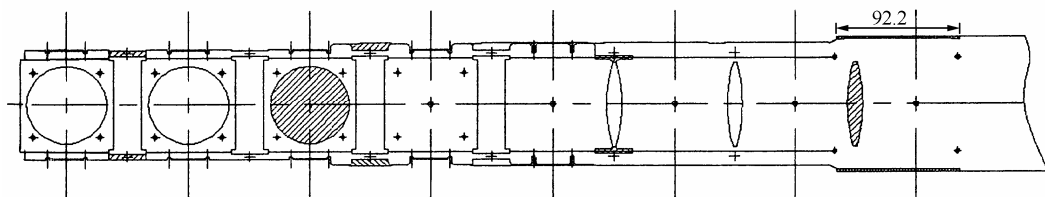


图 7-132 风扇支架件排样图三

2. 风扇支架件排样设计技巧

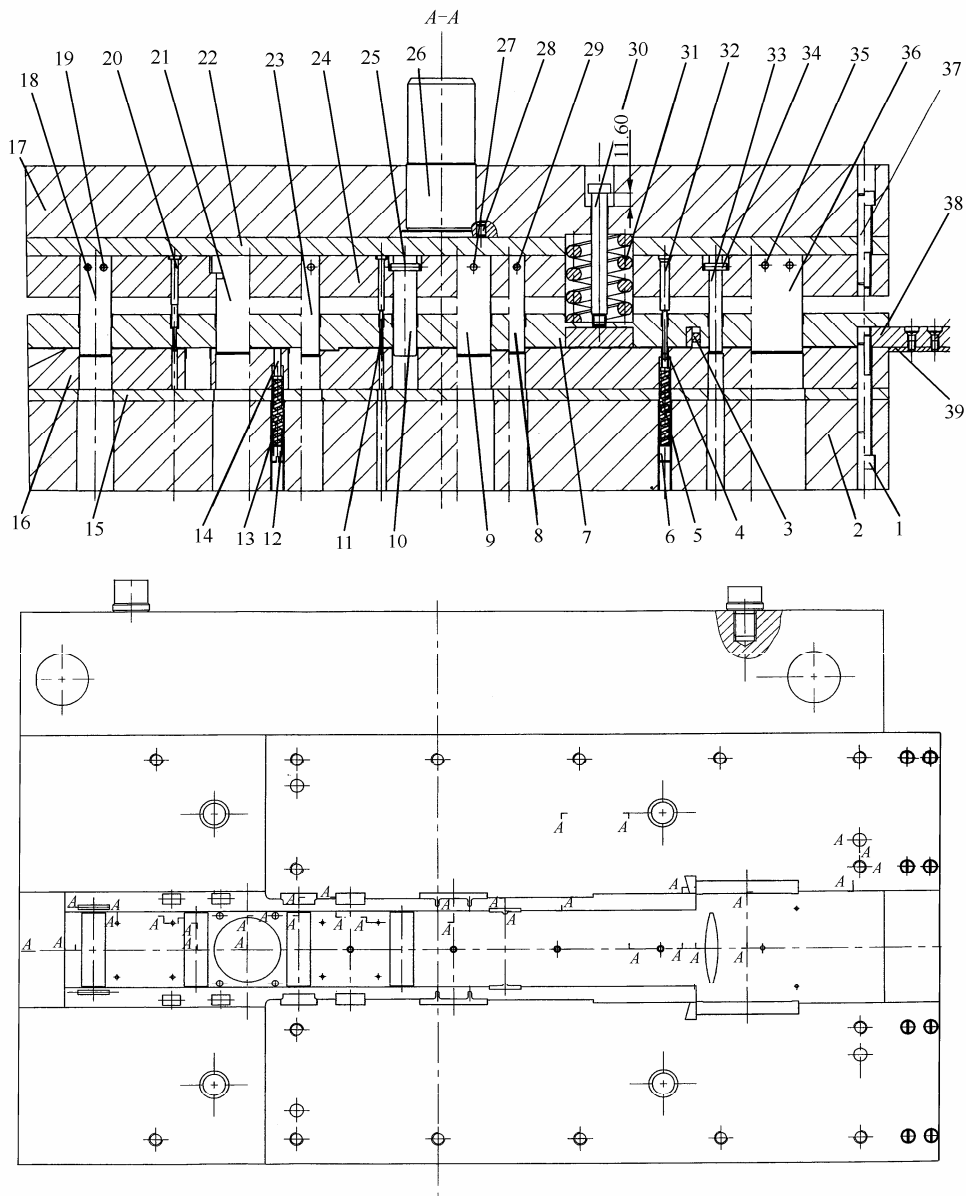
排样图三由右向左工步依次为：第一步，切侧刃、切局部外型孔及冲导正销孔；第二步，空步；第三步，切局部外形；第四步，弯曲和翻边；第五步，切局部外形；第六步，冲裁中间孔；第七步，切断。

排样图一方案的缺点是在条料送进中，载体有移动变形，对导正和成形工序均有影响；宽度方向弯曲凸模过大，不方便加工和安装。

排样图二即方案二，较之方案一，此方案在后续的工序上有所改变。将宽度方向的弯曲设置在第三工序并且对弯曲凸模也做了调整，可以很好地解决方案一中弯曲凸模过大，不方便安装和控制的问题，但是该方案并没有解决载体的移动和定位问题，后续的成形工序很难保证，制件的精度也会受到影响。

排样图三即方案三，较之前两个方案，在载体的选择和导正销孔的位置上做了很大的调整。该方案在第一工序冲两个工艺孔，这样会在第二工序的 Z 形弯曲时，使条料移动对条料的影响减小，也能使弯曲工序顺利进行。由于条料的移动，在中间位置设置导正孔，这样可以保证条料精确送进，也能提高制件的精度，中间孔的冲裁安排在第六个工序，这样，可以用四个导正销钉对条料进行导正，导正问题得到很好的解决。此方案虽然安排了七个工序，但它解决了以上两个方案存在的冲外形时冲头过大的缺点，在材料利用率上虽然稍微低一点，但它的可行性比以上两个方案高，所以方案三为一种较好的方案。综合比较后，确定第三种方案为最优方案，后续的设计将会以此作为设计方案。

3. 风扇支架件装配图 (如图 7-133 所示)



1、30—螺钉；2—下模座；3—镶块；4、14—浮顶器；5、13、31—弹簧；6、12—丝堵；7—卸料板；

8、9、10、11、18、20、23、33、36—冲裁凸模；15、22—垫板；16—凹模板；17—上模座；

19、25、27、28、29、34、35、37—销钉；21—弯曲凸模；24—固定板；26—模柄；32—导正销；38—导料板；39—承料板

图 7-133 风扇支架件装配图

7.6.24 发卡件多工位级进模设计

1. 发卡件零件图（如图 7-134 所示）及发卡件排样图（如图 7-135~图 7-137 所示）。

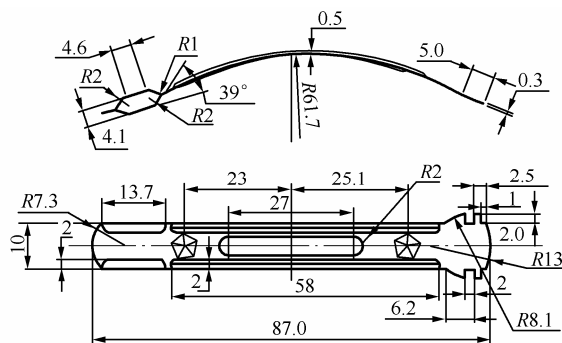


图 7-134 发卡件零件图

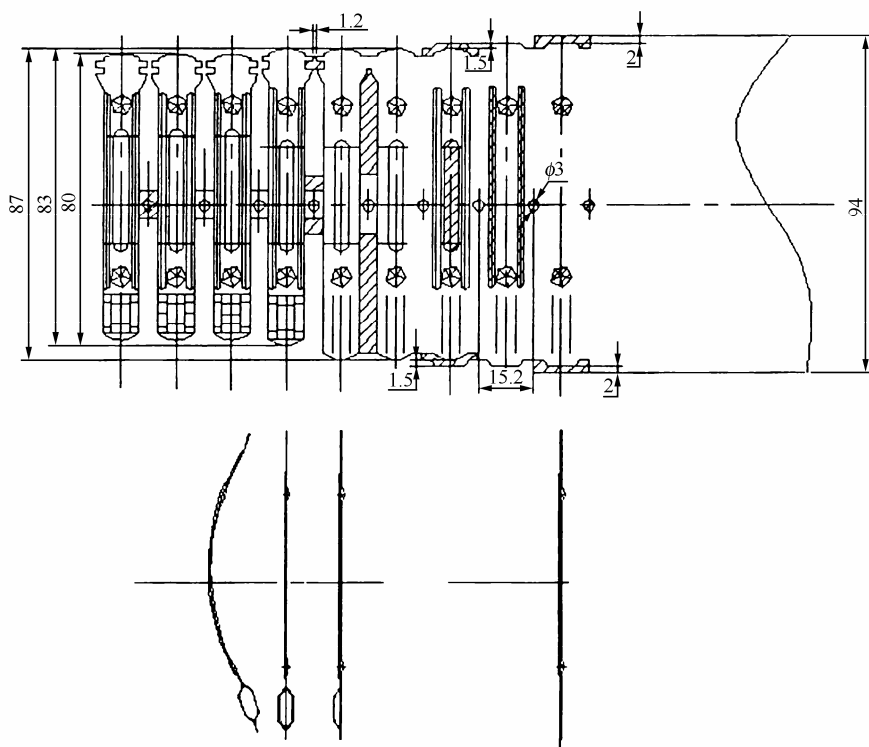


图 7-135 发卡件排样图一

2. 发卡件排样设计技巧

发卡件排样方案如下。

方案一：此排样为横排，用侧刃粗定距，导正销精定距。在连接桥的中心冲一个工艺孔，精度要求不高，用它作为导正销孔。排样采用中间载体，能够满足送料要求，材料利用率为48.98%。此方案复合弯曲一次完成，大半径圆弧弯曲方向向上，在切断处开有斜槽，在切断这个工位上零件的重心已经位于斜槽以内，依赖重力作用能够很好地实现自动出件。材料利

用率和压力中心符合级进模设计要求，且工步紧凑，零件工作部分形状和尺寸较容易保证，模具尺寸较小，此方案是可行的。

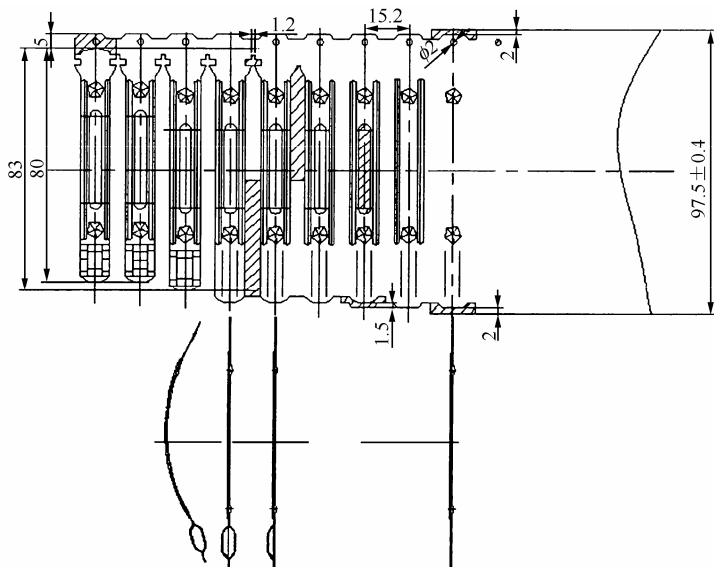


图 7-136 发卡件排样图二

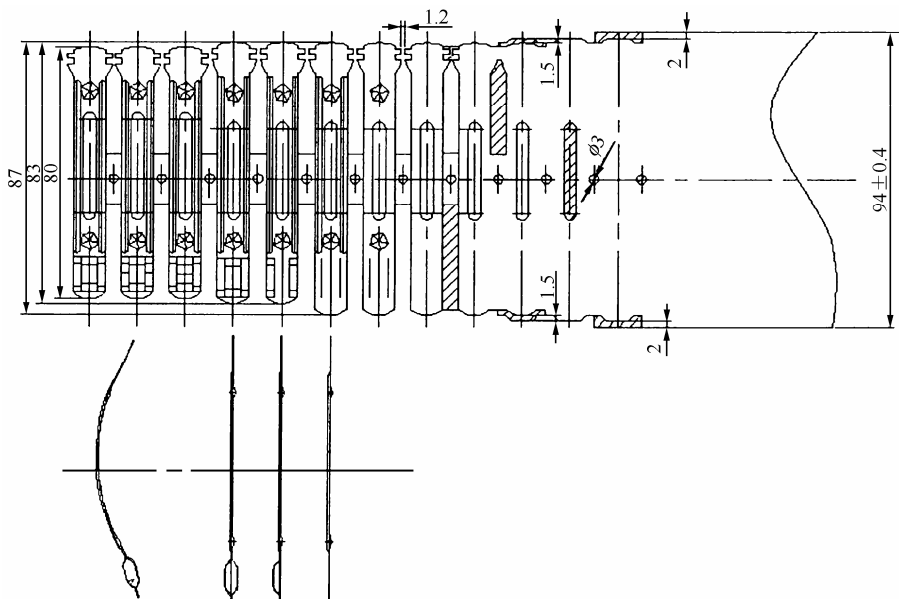


图 7-137 发卡件排样图三

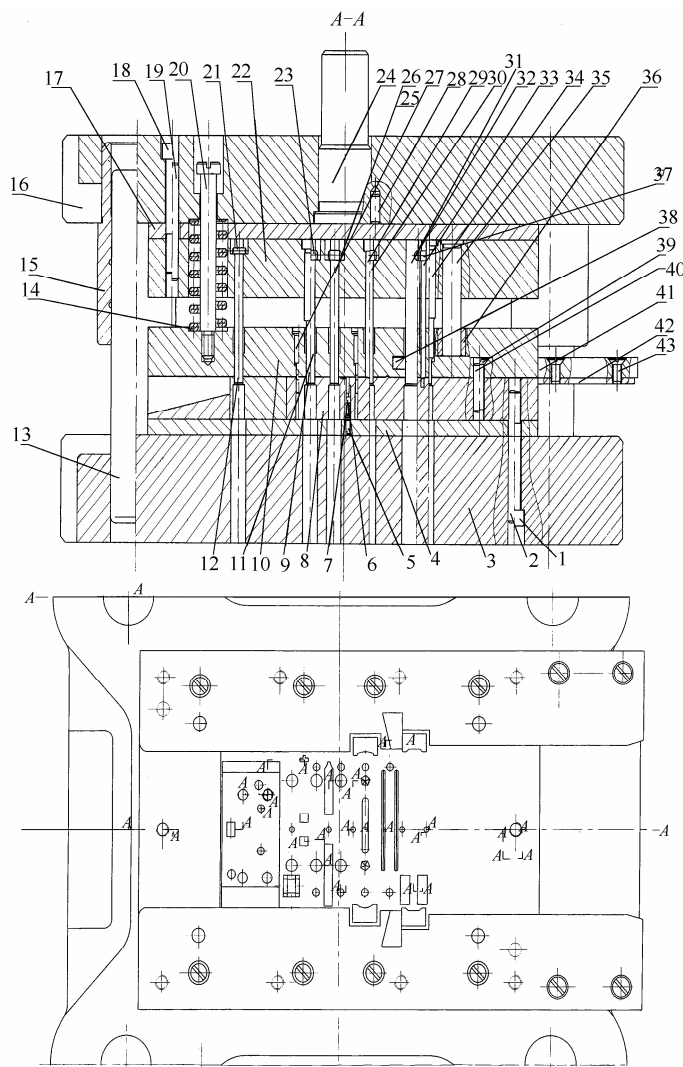
方案二：与方案一相比，此方案的主要区别之处是连接桥做成了单侧桥，桥做在没有成形工步的一侧。在大半径圆弧弯曲之前的工步都能顺利完成，但是在在大半径弯曲这一步由于弯曲最大高度达到了 10 mm，而弯曲高度差最大的地方在于零件的两侧，如果把桥做在两侧或者做成单侧桥都会使连接桥发生过大变形而有可能出现断裂，连接桥发生太大的变形有可能扯动条料，从而影响板料的精确定位，严重影响零件的成形。因此，该方案是不合理的，不能采用。

方案三：和方案一相比，材料的利用率为 45.05%，两个方案都是把连接桥做在中间位置，

从而进行大半径弯曲时不会出现方案二的那种情况。缺点是工步太分散，工位太多，一些工步本应该能合成一起完成的，零件成形行程太长，使得零件在成形过程中有太多的定位，定位误差较大，零件的形状和尺寸会出现较大偏差，并且模具尺寸较大。因此，该种方案不如方案一。

综合比较上述三种方案，方案一是三种方案中的最优方案。排样图一由右向左的工步依次为：第一步，切侧刃、胀形及冲导正销孔；第二步，压印；第三步，切局部外形；第四步，空步；第五步，切局部外形；第六步，切局部外形；第七步，一次弯曲；第八步，二次弯曲；第九步，切断。

3. 发卡件装配图（如图 7-138 所示）



- 1、18、20、39、43—螺钉；2、31、37—销钉；3—下模座；4—垫板；5—丝堵；6、14—弹簧；7—浮顶器；
8—凹模板；9、11、12、25、30、32、34—冲裁凸模；10—卸料板；13、35—导柱；15、36—导套；
16—上模座；17—垫板；19、21、23、26、28、40—销钉；22—固定板；24—模柄；27—弯曲凸模；
29—压印凸模；33—胀形凸模；38—镶块；41—导料板；42—承料板

图 7-138 发卡件装配图

7.6.25 簧片件多工位级进模设计

1. 簧片件零件图（如图 7-139 所示）及簧片件排样图（如图 7-140～图 7-143 所示）。

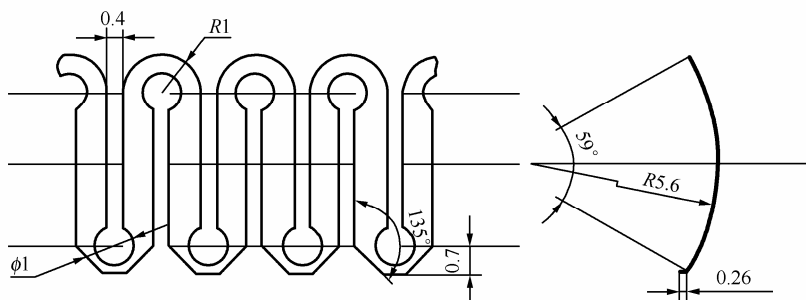


图 7-139 簧片件零件图

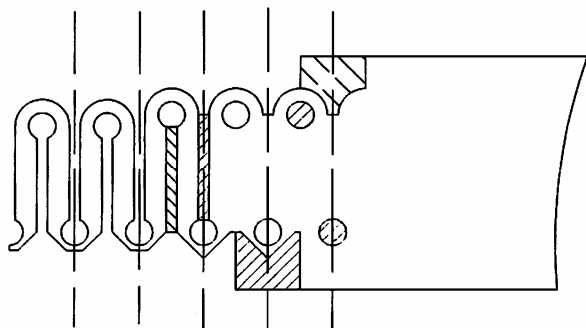


图 7-140 簧片件排样图一

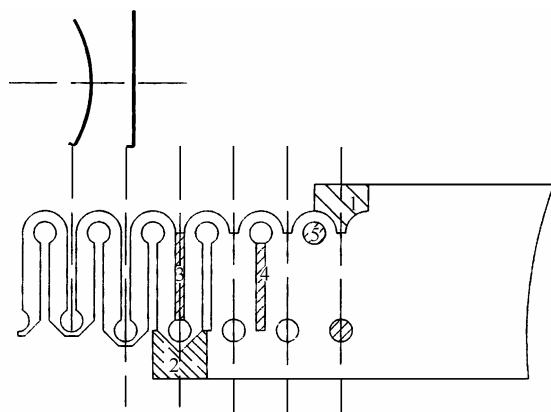


图 7-141 簧片件排样图二

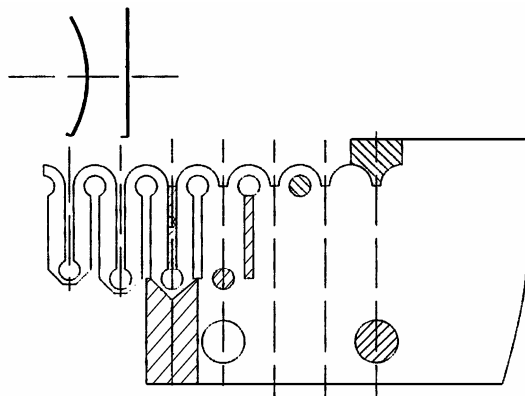


图 7-142 簧片件排样图三

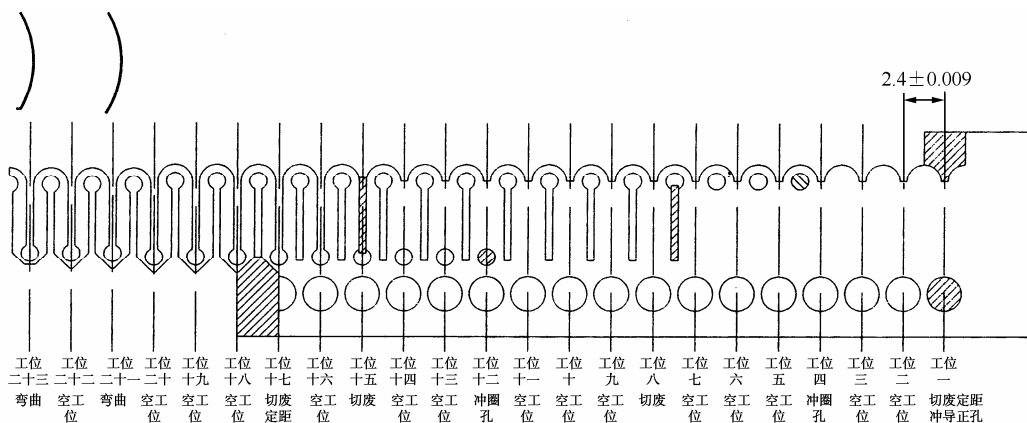


图 7-143 簧片件排样图四

2. 簧片件排样设计技巧

簧片件排样方案如下。

方案一：此排样为横排，共五个工步，第一步用冲裁凸模做侧刃粗定距，冲导正钉孔用于精定距，用零件上的工艺孔兼做导正钉孔，因簧片件材料为黄铜，较软，所以会降低工艺孔精度。第二步为冲裁外形，第三步为冲裁矩形孔，第三步为弯曲，最后一步切断。材料利用率为 70.3%。

方案二：此方案先 V 形弯曲，后 U 形弯曲，无法保证簧片件外形成形，且有方案一用零件上的工艺孔兼做导正钉孔的缺点。材料利用率为 68.5%。

方案三：和方案一、二相比，优点是导正钉孔不设在簧片件上，缺点是无法保证簧片件外形成形。

方案四：增加了十五个空步，使冲裁力均匀分布，先 U 形弯曲，后 V 形弯曲，保证簧片件外形成形。矩形孔与圆孔搭接，以免出现错位，导正钉孔不设在簧片件上，虽然材料利用率有所降低，但很好地保证了簧片件外形成形。

综合比较上述四种方案，方案四是四种方案中的最优方案。

3. 簧片件装配图 (如图 7-144 所示)

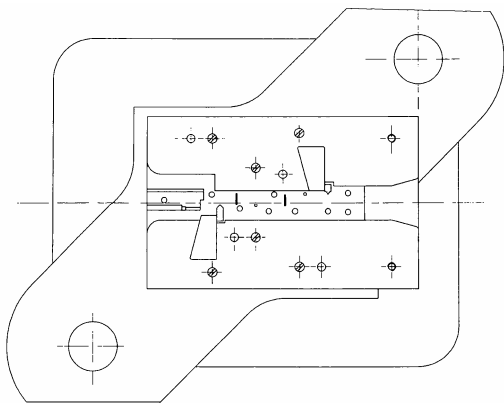


图 7-144 簧片件装配图

7.6.26 角架件多工位级进模设计

1. 角架件零件图 (如图 7-145 所示) 及角架件排样图 (如图 7-146~图 7-148 所示)。

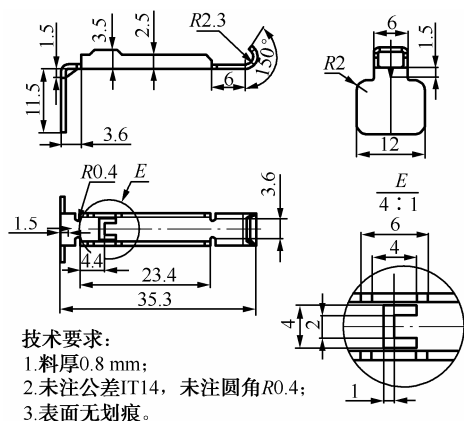


图 7-145 角架件零件图

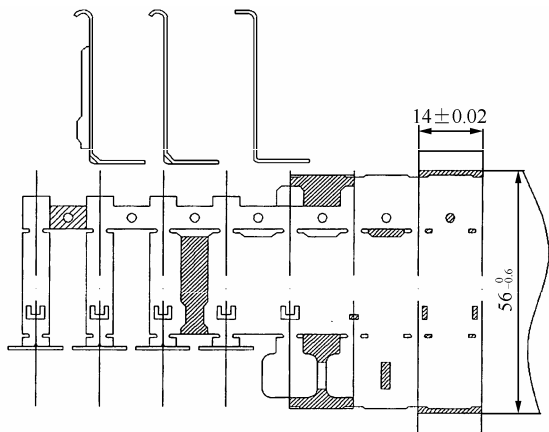


图 7-146 角架件排样图一

2. 角架件排样设计技巧

角架件排样方案如下。

方案一：此排样为单排、横排，用双侧刃粗定距，导正钉精定距，采用单侧载体，载体上冲导正钉孔导正，此排样 U 形弯曲和卷圆弯曲向下，L 形弯曲和压加强筋向上，能够实现所有弯曲，但卷圆模具结构较复杂，压力中心符合设计要求。

方案二：此方案与方案一相比，U 形弯曲、预弯曲和卷圆弯曲均改为向上弯曲，L 形弯曲和压加强筋改为向下，使模具结构简单。

方案三：和方案一、二相比，卷圆弯曲先预弯一个圆弧，再将卷圆弯曲用侧向滑块的方法完成，缺点是模具结构较复杂。

综合比较上述三种方案，方案二是三种方案中的最优方案。

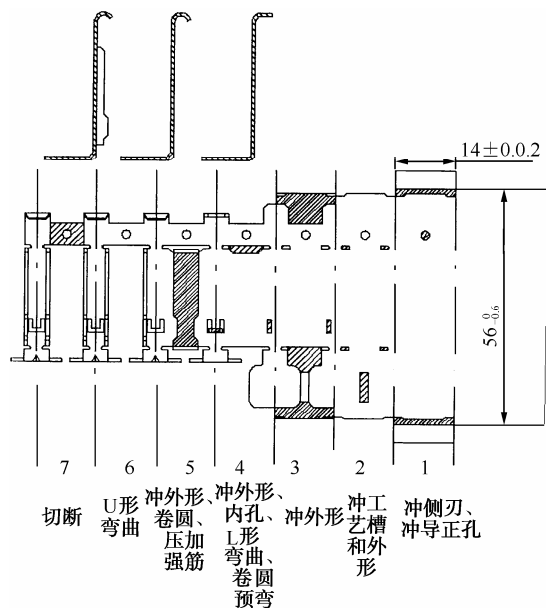


图 7-147 角架件排样图二

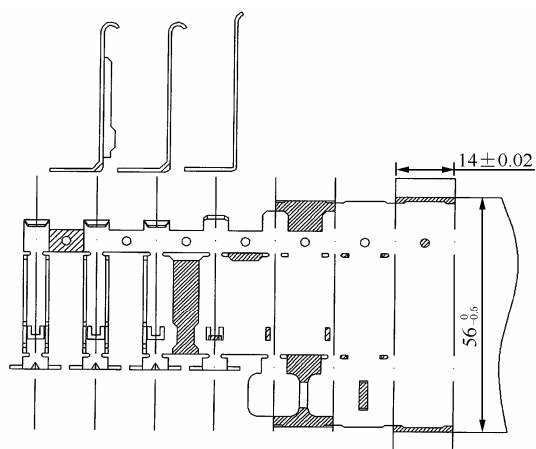


图 7-148 角架件排样图三

3. 角架件装配图 (如图 7-149 所示)

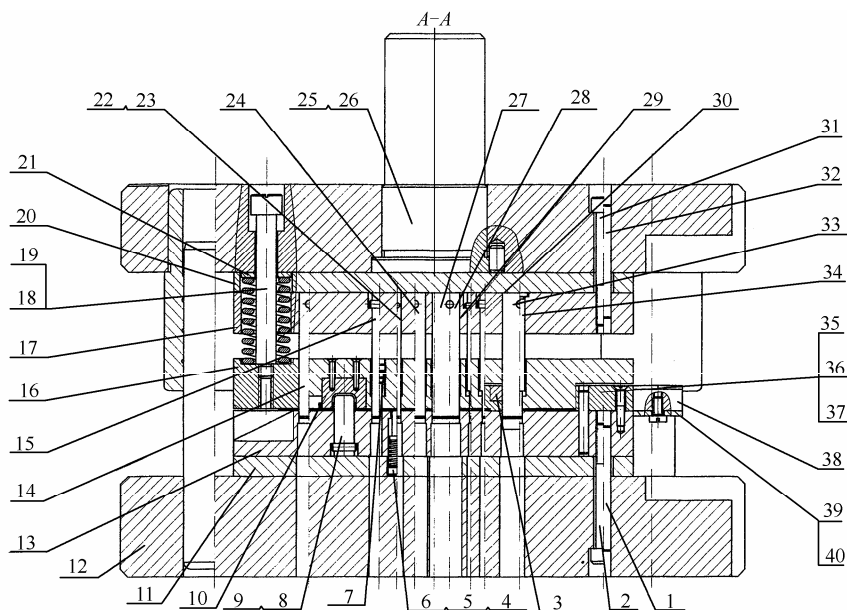
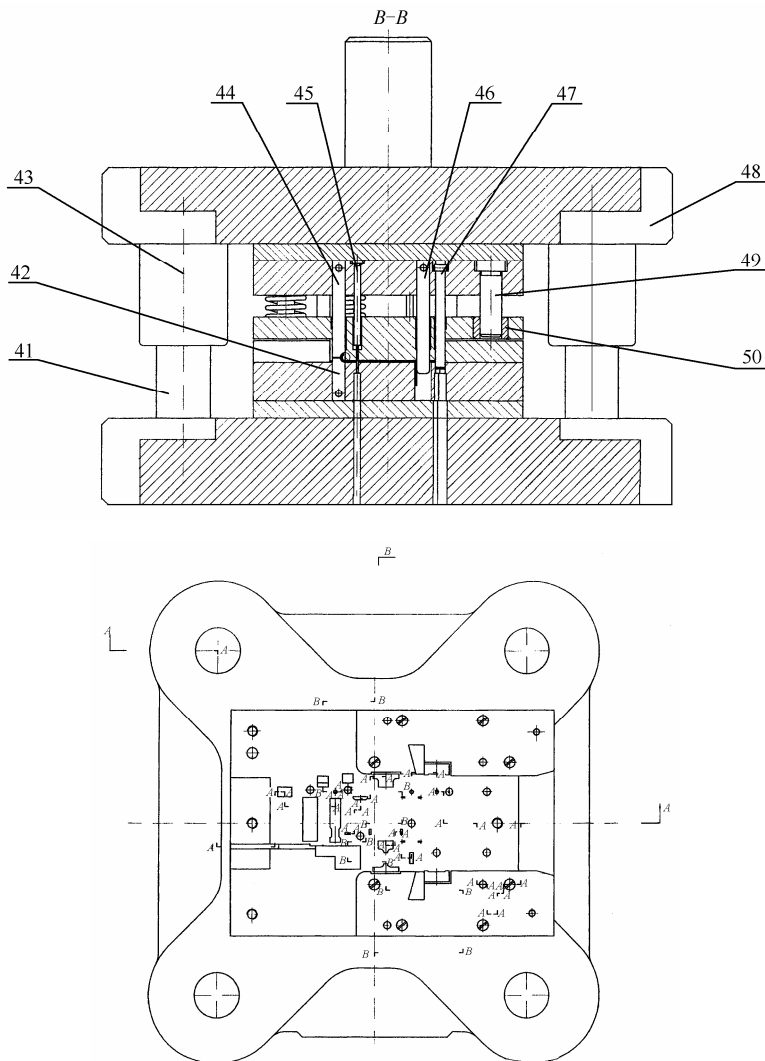


图 7-149 角架件装配图 (三视图)



- 1、9、23、26、28、32、36—销钉；2、19、31、37、40—螺钉；3、35—镶块；4—丝堵；5—弹簧；6—浮顶器；
7—压加强筋凸模；8、15、46—弯曲凸模；10—弯曲凹模；11、20—垫板；12—下模座；13—凹模板；
14、22、24、27、29、30、33、34、47—冲裁凸模；16—卸料板；17—固定板；18—弹簧；21—垫块；25—模柄；
38—导料板；39—承料板；41、49—导柱；42—卷圆凹模；43、50—导套；44—卷圆凸模；45—导正钉；48—上模板

图 7-149 角架件装配图（三视图）（续）

7.6.27 接线片片多工位级进模设计

1. 工艺分析

图 7-150 所示为接线片片，材料为 H62 黄铜，料厚为 0.8 mm，生产批量为 30 万次，要求保证弯曲角度。接线片片需冲裁、弯曲和切口多道工序，图 7-150 所示 I 处变形剧烈，II 处需切口工序，按弯曲件展开尺寸计算得零件展开图如图 7-151 所示。

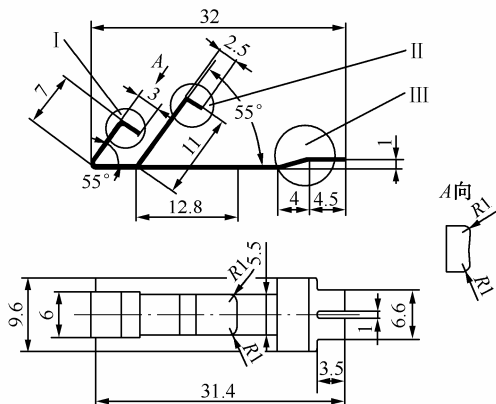


图 7-150 接线片片零件图

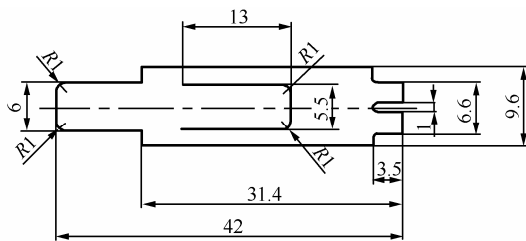


图 7-151 接线片片零件展开图

2. 接线片片排样设计

接线片片为简化级进模具结构,降低制造成本,保证条料送进刚性和稳定性,减小级进模具工作面积,减小级进模具发生故障及返修概率,采用单排排列。导正销布置在条料两侧连接桥部位,保证条料送进稳定。当制件弯侧边时,在前一工位设置切刀切除连接桥,使条料变为中间载体。此冲件包括冲裁、弯曲、切舌等工序。为使材料很好定位,首先安排自动送料机构和冲导正销孔,在每步成形工步前,应先冲掉周围妨碍成形的废料。

具体排样图如图 7-152 所示,第一步,冲导正销孔;第二步,冲异型孔;第三步,空步;第四步,一次弯曲及切舌;第五步,二次弯曲;第六步,三次弯曲;第七步,空步;第八步,切断。

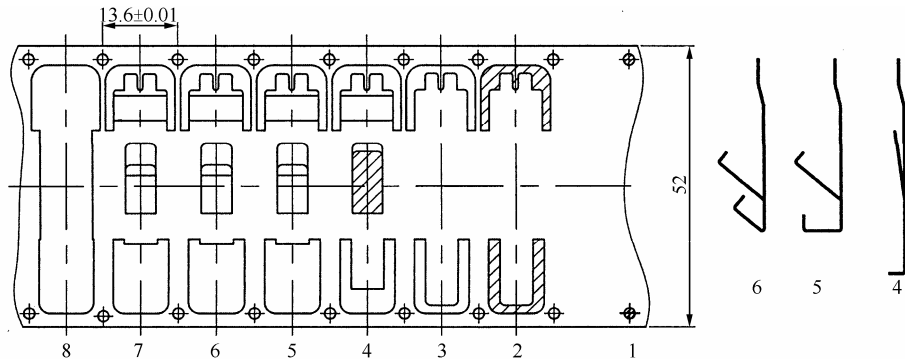


图 7-152 接线片片排样图

7.6.28 压簧片片多工位级进模设计

1. 工艺分析

图 7-153 所示为压簧片片展开图, 材料为 08F 钢, 料厚为 0.8 mm, 生产批量为 50 万次, 要求保证毛刺不大于 0.04 mm。压簧片片需冲裁、弯曲和整形多道工序。

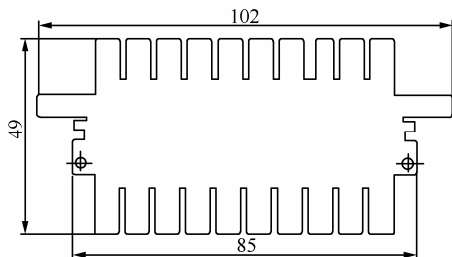


图 7-153 压簧片片展开图

2. 压簧片片排样设计

压簧片片为简化级进模具结构, 降低制造成本, 保证条料送进刚性和稳定性, 减小级进模具工作面积, 减小级进模具发生故障及返修概率, 采用单排排列。导正销布置在条料两侧连接桥部位, 保证条料送进稳定。此冲件包括冲裁、弯曲和整形等工序。为使材料很好定位, 首先安排自动送料机构和冲导正销孔, 在每步成形工步前, 应先冲掉周围妨碍成形的废料。

具体排样图如图 7-154 所示, 第一步, 冲导正销孔及型孔; 第二步, 冲异型孔; 第三步, 冲异型孔; 第四步, 冲异型孔; 第五步, 一次弯曲; 第六步, 二次弯曲及整形; 第七步, 弯曲两侧并切断。

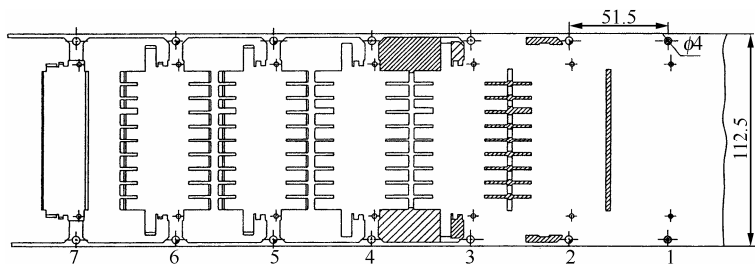
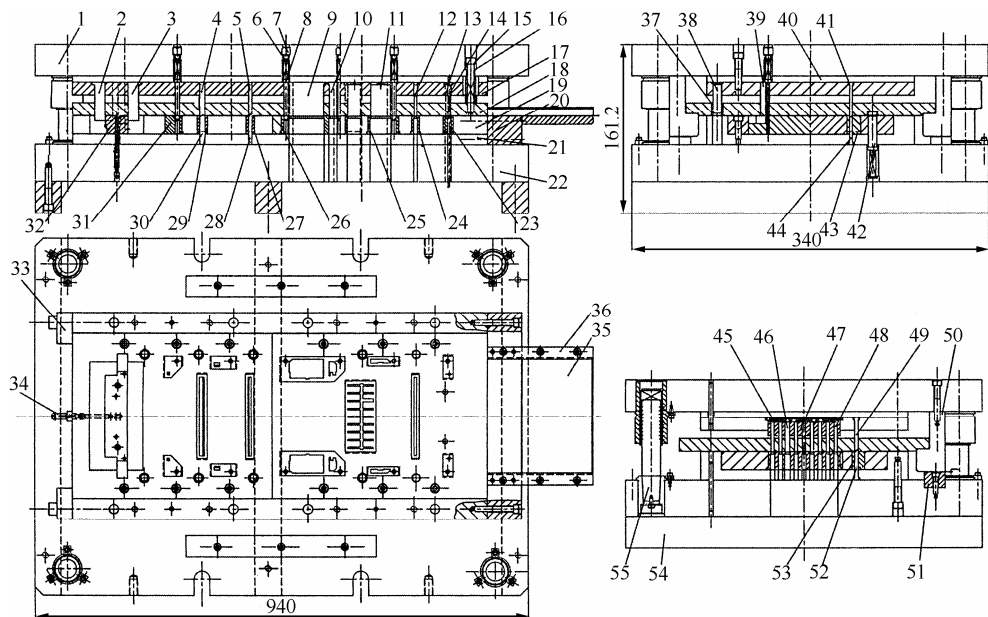


图 7-154 压簧片片排样图

3. 压簧片片级进模具结构设计

压簧片片级进模具装配图如图 7-155 所示。模具工作过程: 采用自动送料机构粗定距, 当冲床滑块下行带动上模座使模具闭合时, 第一步, 条料被冲孔凸模冲出导正销孔、零件外型孔, 导正销起精定距作用; 第二、三、四步, 冲裁凸模分别进入凹模冲出零件异型孔; 第五步, 弯曲凸模进入弯曲凹模, 弯出零件头部侧壁; 第六步, 弯曲凸模进入弯曲凹模, 弯出零件 U 形侧壁, 同时, 整形凸模进入整形凹模, 整形前一步弯出的零件 U 形侧壁; 最后一步, 弯曲凸模进入弯曲凹模, 弯出零件侧壁, 同时由切断凸模最终分割出成品零件。级进模采用弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式, 以保证修配方便。



- 1—上模座；2—弯曲凸模；3—弯曲凸模；4—弯曲凸模；5—弯曲凸模；6—弹簧；7—丝堵；8—导正销；9—冲切外形凸模；10—冲切外形凸模；11—冲切外形凸模；12—冲切外形凸模；13—冲孔凸模；14—冲孔凸模；15—卸料螺钉；16—等高套；17—固定板；18—卸料板；19—凹模框；20—压块；21—垫板；22—下模座；23—凹模套；24—凹模套；25—凹模套；26—凹模套；27—凹模套；28—弯曲凹模；29—凹模套；30—弯曲凹模；31—凹模套；32—弯曲凹模；33—压块；34—气嘴；35—承料板；36—导料板；37—导套；38—小导柱；39—冲断凸模；40—垫板；41—弯曲凸模；42—浮动导料销；43—凹模套；44—弯曲凹模；45—钢丝；46—冲切外形凸模；47—凸模固定镶块；48—冲切外形凸模；49—弯曲凸模；50—卸料板支架；51—安全块；52—弯曲凹模；53—凹模套；54—支承板；55—滚珠导柱导套；56—浮顶器

图 7-155 压簧片片级进模具装配图

7.6.29 弹簧片片多工位级进模设计

1. 工艺分析

图 7-156 所示为弹簧片片零件图，材料为 08F 钢，料厚为 0.5 mm，生产批量为 50 万次，要求保证毛刺不大于 0.03 mm。弹簧片片有三处折弯成形工序，成形精度要求高。

2. 弹簧片片排样设计

弹簧片片为简化级进模具结构，降低制造成本，保证条料送进刚性和稳定性，减小级进模具工作面积，减小级进模具发生故障及返修概率，采用单排、横排排列。导正销布置在条料一侧及中间连接桥部位，保证条料送进稳定。此冲件包括冲裁、弯曲和压印等工序。为使材料很好定位，首先安排冲侧刃和冲导正销孔，在每步成形工步前，先冲掉周围妨碍成形的废料。

具体排样图如图 7-157 所示，第一步，冲导正销孔及冲侧刃；第二步，冲异型孔；第三步，空位；第四步，弯曲；第五步，空位；第六步，整形；第七步，冲异型孔；第八步，压印；第九步，弯曲 B 处；第十步，弯曲；第十一步，切断；第十二步，切断。

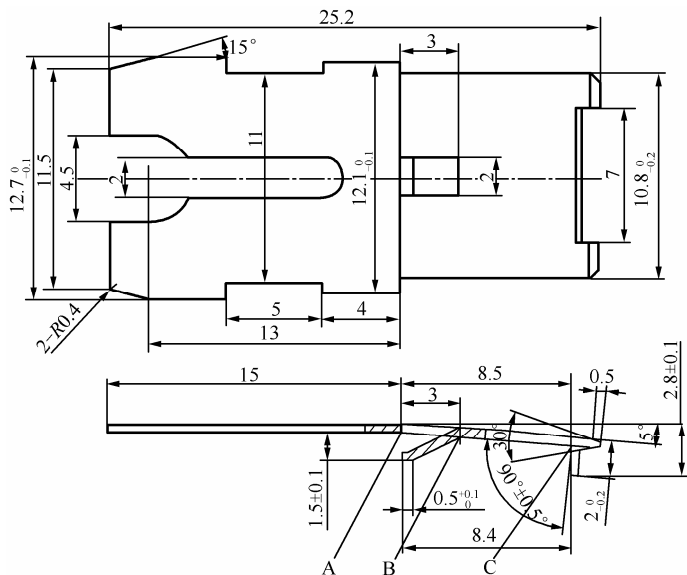


图 7-156 弹簧片零件图

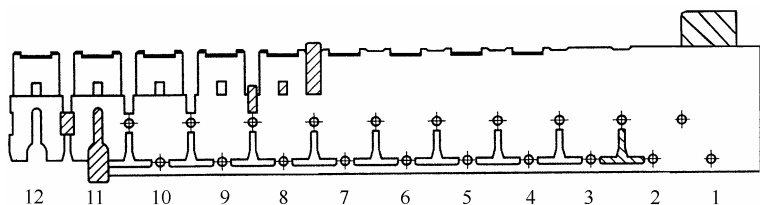


图 7-157 弹簧片排样图

3. 弹簧片件级进模具结构设计

弹簧片件级进模具装配图如图 7-158 所示。模具工作过程：当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，条料被冲孔凸模和侧刃凸模冲出导正销孔、侧刃型孔，侧刃粗定距，导正销起精定距作用；第二步，冲裁凸模进入凹模冲出零件异型孔；第三步、第五步，为空位，凸模不完成任何工作；第四步，弯曲凸模进入弯曲凹模，弯出零件头部侧壁；第六步，整形凸模进入整形凹模，整形第四步弯出的直角；第七步，冲裁凸模进入凹模冲出零件异型孔；第八步，压印凸模进入凹模，完成压印工序；第九步，弯曲凸模进入弯曲凹模，弯曲 B 处；第十步，弯曲凸模进入弯曲凹模，弯曲 5° 角；第十一步、第十二步，由切断凸模进入凹模，最终分割出成品零件。

级进模采用弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。凸模尽量采用快换式或穿销式，以保证修配方便。采用精密滑动导柱导向，保证制件的成形精度。

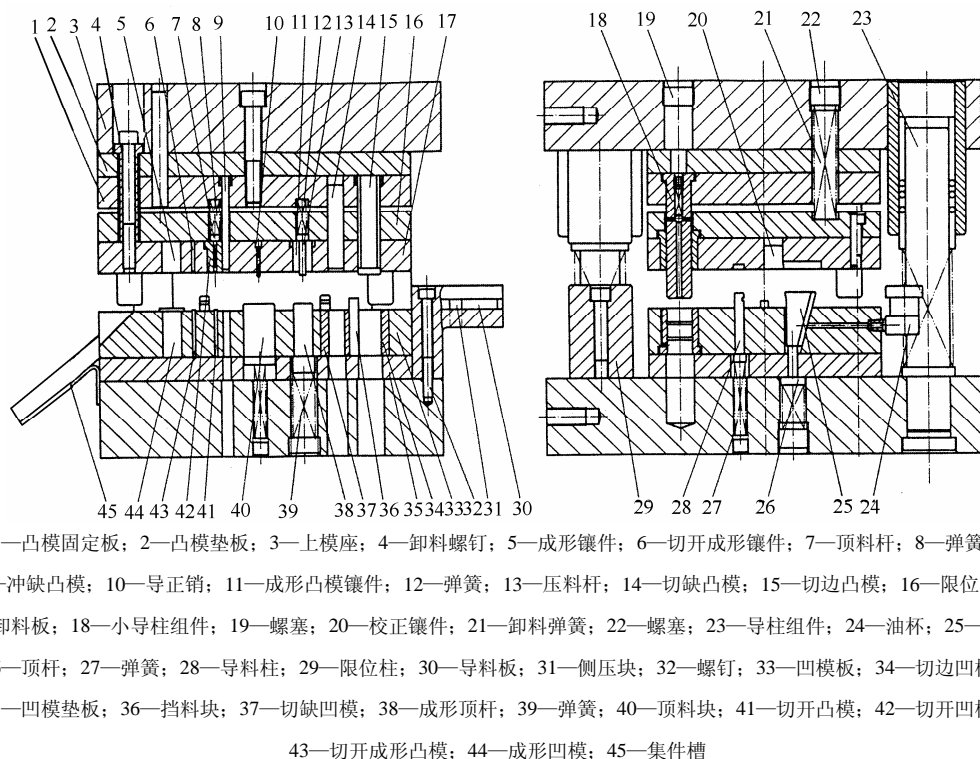


图 7-158 弹簧片件级进模具装配图

7.6.30 接插片件多工位级进模设计

1. 工艺分析

图 7-159 所示为接插片件零件图，材料为 H62，料厚 0.8 mm，生产批量为 50 万次，要求保证毛刺不大于 0.04 mm。接插片件有三处折弯成形，三处 U 形弯曲工序，成形难度大，卷圆工序还要预弯曲。

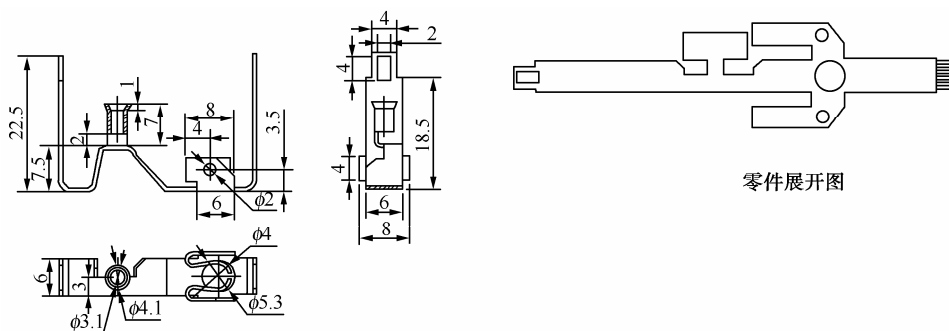


图 7-159 接插片件零件图

2. 接插片件排样设计

接插片件为简化级进模具结构，降低制造成本，保证条料送进刚性和稳定性，减小级进模具工作面积，减小级进模具发生故障及返修概率，采用单排、横排排列。导正销布置在条

料两侧, 保证条料送进稳定。此冲件包括冲裁、弯曲和卷圆等工序。为使材料很好定位, 首先安排冲侧刃和冲导正销孔, 在每步成形工步前, 先冲掉周围妨碍成形的废料。

具体排样图如图 7-160 所示, 第一步, 冲导正销孔及冲侧刃; 第二步, 冲异型孔; 第三步, 冲异型孔; 第四步, 弯曲圆弧; 第五步, 弯曲圆弧; 第六步, 冲异型孔; 第七步, 冲异型孔; 第八步, U 形弯曲; 第九步, 卷圆弯曲; 第十步, 卷圆弯曲; 第十一步, 弯曲; 第十二步, 冲孔; 第十三步, 空位; 第十四步, 弯曲; 第十五步, 弯曲兼切断。

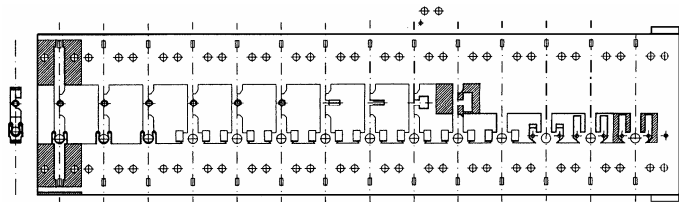
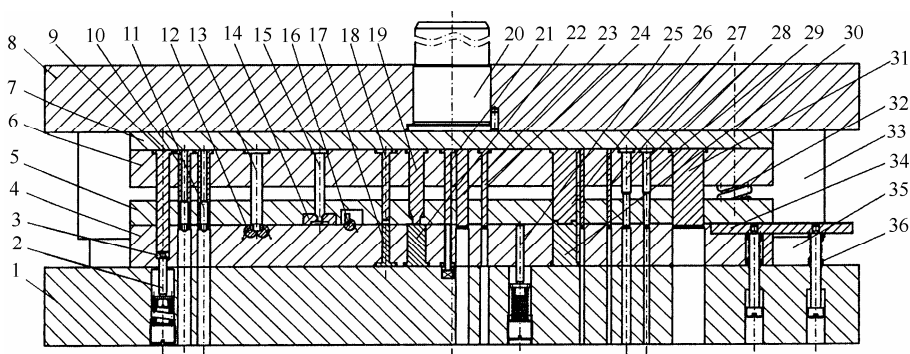


图 7-160 接插片件排样图

3. 接插片件级进模具结构设计

接插片件级进模具装配图如图 7-161 所示。模具工作过程: 当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时, 第一步, 条料被冲孔凸模和侧刃凸模冲出导正销孔、侧刃型孔, 侧刃粗定距, 导正销起精定距作用; 第二步、第三步, 冲裁凸模进入凹模冲出零件异型孔; 第四步、第五步, 弯曲凸模进入弯曲凹模, 弯出零件圆弧; 第六步、第七步, 冲裁凸模进入凹模冲出零件异型孔; 第八步, 弯曲凸模进入弯曲凹模, 弯出 U 形; 第九步、第十步、第十一步, 弯曲凸模进入弯曲凹模, 弯曲卷圆; 第十二步, 冲裁凸模进入凹模冲出零件型孔; 第十三步, 为空位, 凸模不完成任何工作; 第十四步, 弯曲凸模进入弯曲凹模, 弯出零件; 第十五步, 弯曲和切断凸模分别进入凹模, 弯曲兼切断, 最终分割出成品零件。

级进模采用弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。采用精密滑动导柱导向, 保证制件成形精度。



- 1—下模座; 2—顶杆; 3—顶块; 4—凹模板; 5—卸料板; 6—凸模固定板; 7—垫板; 8—上模座; 9—弯曲凸模; 10—冲孔凸模;
11—导正销; 12—滚轴; 13—弯曲凸模; 14—滑块; 15—翻孔凸模; 16—滚轴; 17—卷圆凹模; 18—卷圆凸模; 19—弯曲凸模;
20—模柄; 21—弯曲凸模; 22—弯曲凹模; 23—冲孔凸模; 24—冲孔凸模; 25—顶杆; 26—弯曲凹模; 27—冲方孔凸模;
28—冲圆孔凸模; 29—冲圆孔凸模; 30—弯曲凸模; 31—侧刃; 32—卸料螺钉; 33—导套; 34—承料板; 35—导柱; 36—弹簧

图 7-161 接插片件级进模具装配图

7.6.31 定位架件多工位级进模设计

1. 工艺分析

图 7-162 所示为定位架件零件图, 图 7-163 所示为定位架件展开图, 材料为 H62, 料厚为 0.4 mm, 生产批量为 50 万次, 要求保证毛刺不大于 0.04 mm。定位架件有挤压、三处折弯成形, 成形难度大。

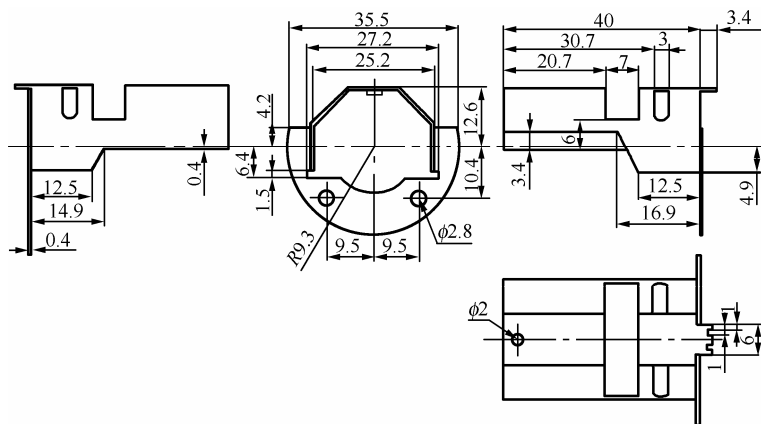


图 7-162 定位架件零件图

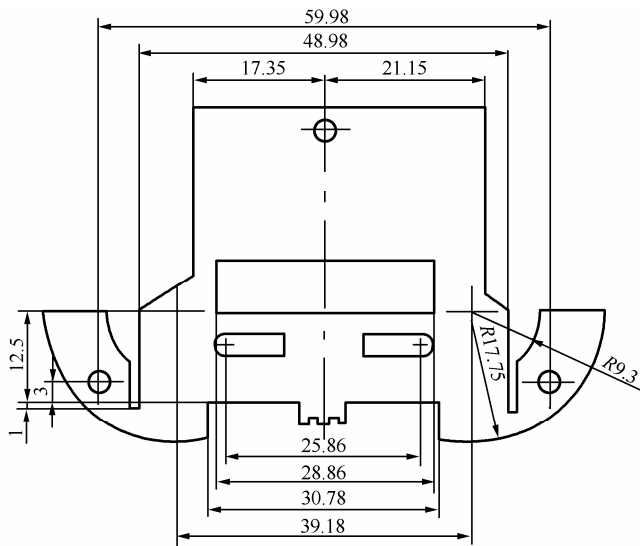


图 7-163 定位架件展开图

2. 定位架件排样设计

定位架件为简化级进模具结构,降低制造成本,保证条料送进刚性和稳定性,减小级进模具工作面积,减小级进模具发生故障及返修概率,采用单排、横排排列。导正销布置在条料两侧,保证条料送进稳定。此冲件包括冲裁、弯曲和挤压等工序。为使材料很好定位,首先安排冲导正销孔,在每步成形工步前,先冲掉周围妨碍成形的废料。

具体排样图如图 7-164 所示, 第一步, 冲导正销孔; 第二步, 冲异型孔; 第三步, 冲异

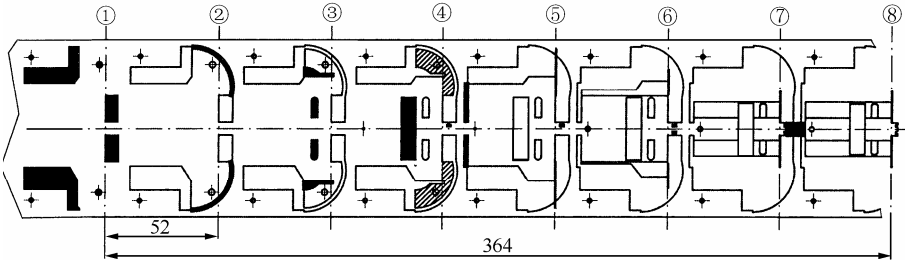


图 7-164 定位架件排样图

7.6.32 开关座件多工位级进模设计

1. 工艺分析

图 7-165 所示为开关座件零件图,材料为 H62,料厚为 0.8 mm,生产批量为 100 万次,要求保证毛刺不大于 0.03 mm。开关座件有冲裁、弯曲、拉深和整形,成形难度大。

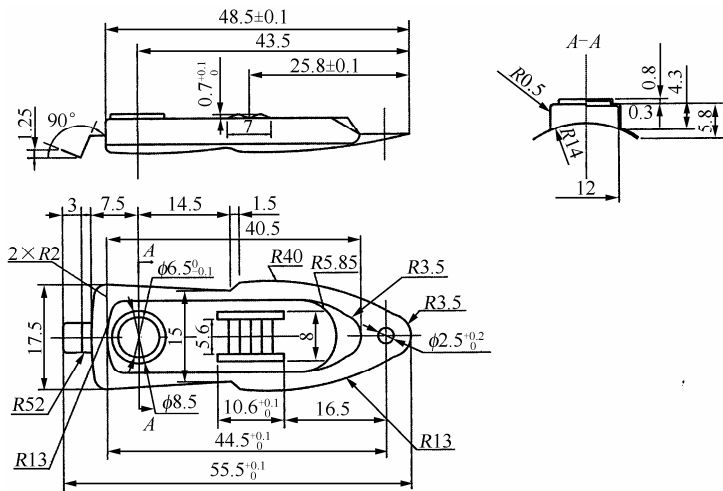


图 7-165 开关座件零件图

2. 开关座件排样设计

开关座件为简化级进模具结构，降低制造成本，保证条料送进刚性和稳定性，减小级进模具工作面积，减小级进模具发生故障及返修概率，采用单排、横排排列。导正销布置在条料两侧，以保证条料送进稳定。此冲件包括冲裁、弯曲、拉深和整形等工序。为使材料很好定位，首先安排自动送料机构粗定距，冲导正销孔，在每步成形工步前，先冲掉周围妨碍成形的废料。

具体排样图如图 7-166 所示, 第一步, 冲导正销孔; 第二步, 预拉深; 第三步, 拉深; 第四步, 冲异型孔; 第五步, 冲异型孔; 第六步, 冲异型孔; 第七步, 圆弧弯曲; 第八步, 整形; 第九步, 冲裁兼弯曲; 第十步, 切断。

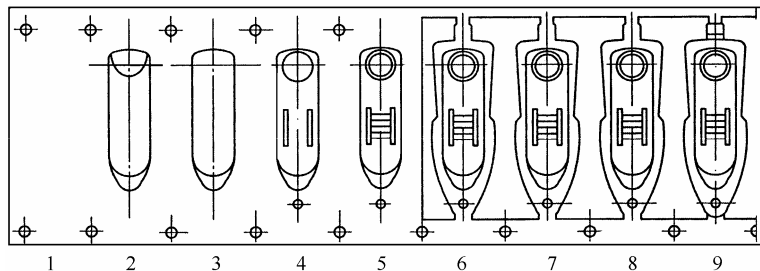
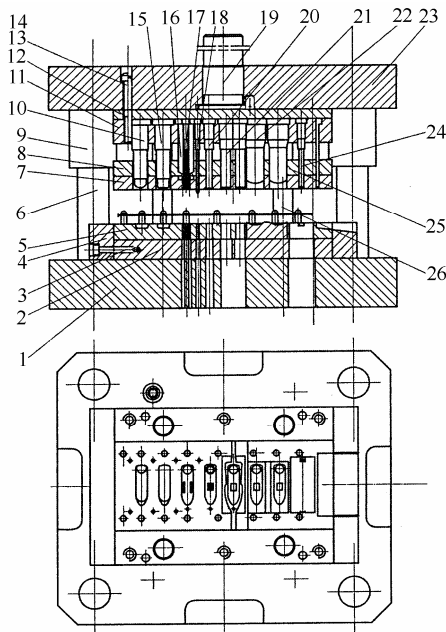


图 7-166 开关座件排样图

3. 开关座件级进模具结构设计

开关座件级进模具装配图如图 7-167 所示。模具工作过程：当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，条料被冲孔凸模冲出导正销孔，导正销起精定距作用；第二步、第三步，拉深凸模分别进入拉深凹模拉深零件外形；第四、五、六步，冲裁凸模进入凹模冲出零件异型孔；第七步，弯曲凸模进入弯曲凹模，弯出零件圆弧；第八步，整形凸模进入整形凹模，整形零件外形；第九步，弯曲凸模进入弯曲凹模，弯出零件外形，同时，冲裁凸模进入凹模冲出零件异型孔；第十步，切断凸模进入凹模，最终分割出成品零件。

级进模采用弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。采用精密滑动导柱导向，保证制件成形精度。级进模还设计安全检测机构来保证制件送料安全。



- 1—下模座；2—凹模固定板；3—固定螺钉；4—挡板；5—凹模拼块；6—导柱；7—卸料板拼块；8—卸料板；9—导套；
10—预拉深凸模；11—凸模固定板；12—垫板；13—螺钉；14—垫圈；15—拉深凸模；16—冲孔凸模；17—小圆孔凸模；
18—导正销；19—模柄；20—压凸凸模；21—切外形凸模；22—圆弧弯曲凸模；23—上模座；24—凸模；
25—圆弧弯曲校正凸模；26—小导柱

图 7-167 开关座件级进模具装配图

7.6.33 侧弯支架件多工位级进模设计

1. 工艺分析

图 7-168 所示为侧弯支架件零件图, 材料为 Q235, 料厚为 1.5 mm, 生产批量为 100 万次, 要求保证毛刺不大于 0.04 mm。侧弯支架件有冲裁、弯曲和切舌工序。

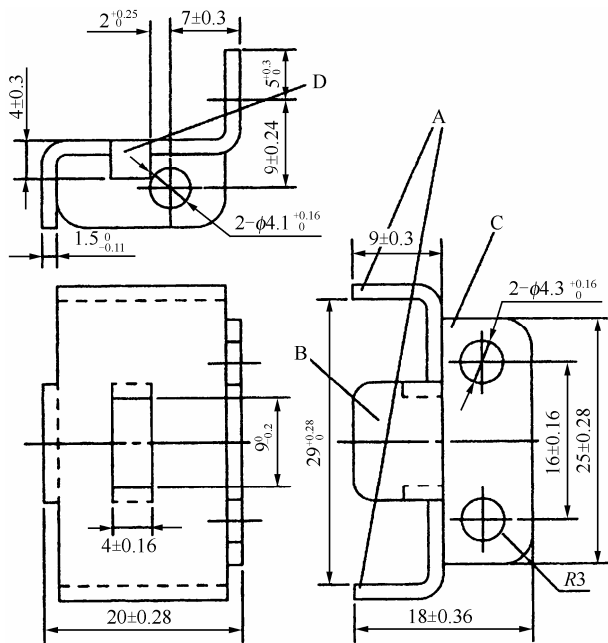


图 7-168 侧弯支架件零件图

2. 侧弯支架件排样设计

侧弯支架件为简化级进模具结构, 降低制造成本, 保证条料送进刚性和稳定性, 减小级进模具工作面积, 减小级进模具发生故障及返修概率, 采用单排、横排排列。导正销孔利用工件上的孔, 布置在条料一侧, 侧刃也是利用工件上的外型孔冲切, 保证条料送进稳定。此冲件包括冲裁、弯曲和切舌工序。为使材料很好定位, 首先安排侧刃冲切工件上的外型孔, 兼起粗定距作用, 冲导正销孔起精定距作用, 在每步成形工步前, 先冲掉周围妨碍成形的废料。

具体排样图如图 7-169 所示, 第一步, 冲侧刃外形及导正销孔; 第二步, 冲异型孔; 第三步, 冲异型孔; 第四步, 冲异型孔; 第五步, 冲异型孔; 第六步, 一侧弯曲; 第七步, 两侧弯曲; 第八步, 切断。

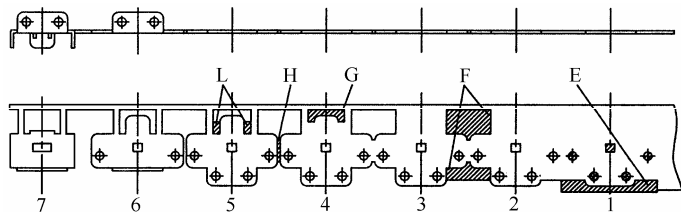
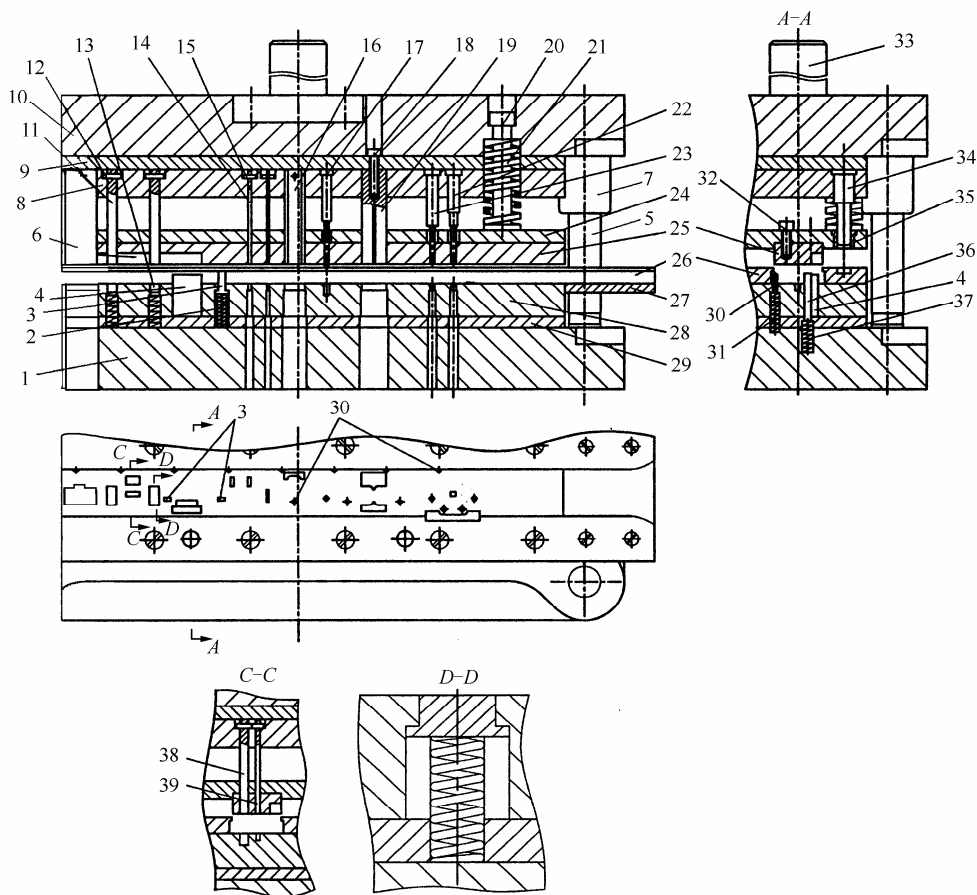


图 7-169 侧弯支架件排样图

3. 侧弯支架件级进模具结构设计

侧弯支架件级进模具装配图如图 7-170 所示。模具工作过程：当冲床滑块下行带动下模座使模具闭合时，第一步，条料被侧刃凸模和冲孔凸模进入相应凹模冲出侧刃外型孔及导正销孔，导正销孔起精定距作用；第二步、第三步、第四步、第五步，冲裁凸模依次进入凹模冲出零件异型孔；第六步、第七步，弯曲凸模进入弯曲凹模，依次弯出零件一侧壁和两侧壁；第八步，切断凸模进入凹模，最终分割出成品零件。

级进模采用弹性卸料板保证每工步的卸料及细长凸模的保护。采用四导柱模架导向，保证制件成形精度。级进模还设计安全检测机构保证制件送料安全。



- 1—下模座；2—弹簧；3—条形浮顶销；4—弯曲凸模；5—导柱；6—冲裁凸模；7—导套；8—凸模固定板；9—垫板；10—上模座；11—弯曲凸模；12—圆柱销；13—顶件块；14—冲裁凸模；15—圆柱销；16—冲裁凸模；17—导正销；18—螺钉；19—冲裁凸模；20—卸料螺钉；21—矩形强力弹簧；22—方孔冲裁凸模；23—圆孔冲裁凸模；24—卸料块；25—卸料板；26—导料板；27—承料板；28—凹模板；29—垫板；30—圆柱形浮顶销；31—弹簧；32—螺钉；33—模柄；34—导柱；35—小导套；36—弯曲推块；37—弹簧；38—弯曲凸模；39—切舌凸模

图 7-170 侧弯支架件级进模具装配图

参 考 文 献

- [1] 王孝培. 冲压手册 [K]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [2] 田嘉生. 冲模设计基础 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1994.
- [3] 邱永成. 多工位级进模设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1987.
- [4] 虞传宝. 冷冲压及塑料成型工艺与模具设计资料 [K]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [5] 刘占军. 铰链支座多工位级进模设计 [J]. 模具工业, 2004 (2).
- [6] 刘占军. 电器插座多工位级进模设计 [J]. 模具工业, 2004 (3).
- [7] 刘占军. 侧弯支座多工位级进模设计 [J]. 模具工业, 2004 (4).
- [8] 刘占军. 支架多工位级进模设计 [J]. 模具工业, 2004 (7).
- [9] 刘占军. 托架多工位级进模设计 [J]. 模具工业, 2005 (8).
- [10] 刘占军. 摇臂件多工位级进模设计 [J]. 模具工业, 2006 (2).
- [11] 刘占军. 弹力支座件多工位级进模设计 [J]. 模具工业, 2006 (3).
- [12] 刘占军. 拉簧钩件多工位级进模设计 [J]. 模具工业, 2007 (2).
- [13] 刘占军. 角撑件多工位级进模设计 [J]. 模具工业, 2007 (4).

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

《冷冲压模具设计难点与技巧》读者意见反馈表

尊敬的读者:

感谢您购买本书。为了能为您提供更优秀的教材,请您抽出宝贵的时间,将您的意见以下表的方式(可从 <http://www.hxedu.com.cn> 下载本调查表)及时告知我们,以改进我们的服务。对采用您的意见进行修订的教材,我们将在该书的前言中进行说明并赠送您样书。

姓名: _____ 电话: _____

职业: _____ E-mail: _____

邮编: _____ 通信地址: _____

1. 您对本书的总体看法是:

☐很满意 ☐比较满意 ☐尚可 ☐不太满意 ☐不满意

2. 您对本书的结构(章节): ☐满意 ☐不满意 改进意见_____

3. 您对本书的例题: ☐满意 ☐不满意 改进意见_____

4. 您对本书的习题: ☐满意 ☐不满意 改进意见_____

5. 您对本书的实训: ☐满意 ☐不满意 改进意见_____

6. 您对本书其他的改进意见:

7. 您感兴趣或希望增加的教材选题是:

请寄: 100036 北京万寿路 173 信箱工业技术出版分社 李洁收

电话: 010-88254501 E-mail: lijie@phei.com.cn